

BETONIN KUIVUMISEN REAALIAIKAINEN MITTAUS

Milja Vauhkonen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2014

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä VAUHKONEN, Milja	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 22.04.2014
	Sivumäärä 49	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi Betonin kuivumisen reaaliaikainen mittaus		
Koulutusohjelma Rakennustekniikka		
Työn ohjaaja(t) KORPINEN, Jussi		
Toimeksiantaja(t) Caverion Suomi Oy, Jyväskylä		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli tutkia betonin kuivumista reaaliaikaiseen mittaamiseen soveltuvalla mittasalkulla. Työ tehtiin yhteistyössä Caverion Suomi Oy Jyväskylän kanssa. Opinnäytteen tavoitteena oli selvittää suhteellisen kosteuden kehittymistä ja tarkastella mittalaitteen luotettavuutta tulosten perusteella. Saatuja tuloksia verrattiin myös laskennallisiin tuloksiin.</p> <p>Tutkimukseen sisältyi 9 viikon mittainen mittausjakso, jossa tarkasteltiin betonirakenteiden kosteutta ja lämpötilaa suhteellisen kosteuden mittausmenetelmillä. Tutkimuksessa testattiin laitteiston käyttäytymistä suoraan märkään betonivaluun asennettaessa. Työ pyrittiin toteuttamaan hyvällä mittaustavalla ja vertailumittaukset suoritettiin RT 14-10984:n mukaan. Vertailumittaukset suoritettiin useimmilla työmailla käytössä olevalla Vaisala-mittalaitteistolla.</p> <p>Mittaustulosten perusteella arvioitiin, onko uusi mittalaite luotettava käytettäväksi myös työmaolosuhteissa suoraan märkään valuun asennettaessa. Haasteena työn suoritukselle oli, ettei valmistajalla ole pätevää työohjetta mittausten suoritukselle. Tämän yksittäisen tutkimuksen perusteella ei voida saada täyttä luotettavuutta laitteen toimivuudesta.</p>		
Avainsanat (asiasanat) betoni, suhteellinen kosteus, kuivuminen		
Muut tiedot		



Author VAUHKONEN, Milja	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 22.04.2014
	Pages 49	Language Finnish
		Permission for web publication (X)
Title Real-time drying out measurement from concrete		
Degree Programme Civil Engineering		
Tutor(s) KORPINEN, Jussi		
Assigned by Caverion Finland Oy, Jyväskylä		
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to research the drying of concrete with a real-time measurement case. The work was completed in co-operation with Caverion Finland Oy, Jyväskylä . The aim was to determine the development of relative humidity and to examine the reliability of the measurement results. The results obtained were compared with the computational results. The results obtained were compared the computational results.</p> <p>The research included a 9-weeks' measurement period, during which concrete moisture and measurement methods for temperature of relative humidity were studied. Equipment behavior was tested when installed in wet concrete casting. The aim was carry out the work using proper of measurement methods and the comparison measurements were performed according to RT 14-10984 norm. The comparison measurements were carried out using Vaisala's measurement equipment, which is used on most construction sites.</p> <p>Based on the measurements the reliability of the new instrument for use in the construction sites was assessed. A challenge for the performance of this thesis work was the absence of a valid work instruction for performance measurements. One single research does not fully prove the functional reliability of the instrument.</p>		
Keywords Concrete, Relative humidity, Drying		
Miscellaneous		

Sisällys

1 Lähtökohdat	3
1.1 Toimeksiantaja	3
1.2 Opinnäytetyön tavoitteet	4
2 Kosteus	5
2.1 Suhteellinen kosteus	5
2.2 Absoluuttinen kosteus	6
2.3 Hygroskooppinen tasapainokosteus	6
2.4 Kapillaarisuus	7
2.5 Kosteus sisällä ja ulkona	8
2.6 Rakennuskosteus	9
3 Työmaan kosteudenhallinta	10
4 Betonin raaka-aineet	11
5 Betonin päällystettävyyys	13
5.1 Nykymääräykset	13
5.2 Pinnan päällystettävyyys	14
5.3 Betonin kuivuminen	16
6 Kosteusmittausten kehitys	18
7 Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen	18
7.1 Yleistä	18
7.2 Määräykset ja ohjeet	19
7.3 Porareikämittaus	20
7.4 Näytepalamittaus	21
7.5 Epävarmuustekijät	22
7.6 Mittauspöytäkirja	23
8 Työn suoritus	25
8.1 Yleistä	25
8.2 Testibetonin suhteutus	25
8.3 Betonin kuivumisajan arviointi laskennallisesti	26
8.4 Mittausvaihe	29
8.5 Mittaustulokset	32
8.6 Tulkinta ja vertailu	33
9 Yhteenveto	35

LÄHTEET	37
LIITTEET	39
Liite 2. Verrokkimittausten tulokset	42
Liite 3. Betonin suhteistus	43
Liite 4. Vaisala-mittalaitteiston ohjekortti	44
Liite 5. Kosteusantureiden tekniset tiedot (testilaitteisto)	45
Liite 5. Ohje porareikämittaukseen	46
Liite 6. Peruskuivumiskäyriä	47

KUVIOT

Kuvio 1.	Caverion Oyj:n historia (Tietoa Caverionista 2013)	4
Kuvio 2.	Suhteellisen kosteuden eri vuodenaikoina (RT 05-10710 1999, 2).....	5
Kuvio 3.	Desorptiokäyrä (Björkholtz 1997 ,60)	7
Kuvio 4.	Kapillaarikatko (Rintamamiestalo, uuden perusmuurin kapillaarikatko) .	8
Kuvio 5.	Porareikämittaus (Huovanainen 2012, 16).....	20
Kuvio 6.	Mittausvyödyt rakenteesta riippuen (RT 14-10984 2010, 14).	21
Kuvio 7.	Näytepalamittaus (RT 14-10984 2010, 7).	22
Kuvio 8.	Testialun paksuus 200mm, mittausvyödyys 80mm	26
Kuvio 9.	Betonin kuivumisajan arviointi laskennallisesti (Merikallio 2002, 38)	27
Kuvio 10.	Peruskuivumiskäyrä (Merikallio 2002, 38)	27
Kuvio 11.	Mittalaitteistoa (mitta-antureita, mittalähtimiä, suojaputkia)	30
Kuvio 12.	Mittauksen suoritus	31
Kuvio 13.	Verrokkimittausten lukuhetki	32
Kuvio 14.	Mittalaitteiston tasaantumisen tarkkailu koeajan päätyttyä	33
Kuvio 15.	Verrokkimittausten lämpötilakäyrät (°C)	34
Kuvio 16.	Verrokkimittausten suhteellisen kosteuden (RH%) käyrät	34

TAULUKOT

Taulukko 1.	Suhteellisen kosteuden enimmäisarvot (Merikallio, 2009, 37).	15
Taulukko 2.	Kuivumisajan kertoimet (Merikallio 2002, 38).....	28

1 Lähtökohdat

1.1 Toimeksiantaja

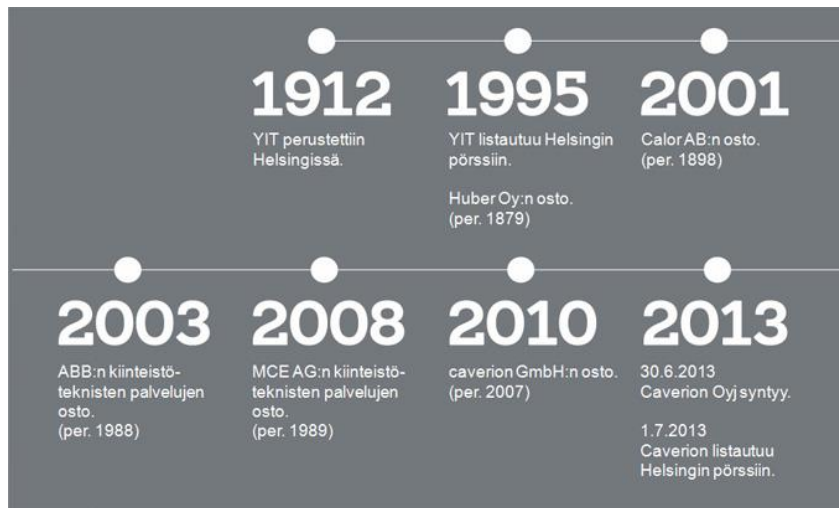
Caverion Oyj syntyi 30.6.2013 kiinteistötekniikan ja teollisuuden palveluiden irtautuessa YIT-konsernista itsenäiseksi konsernikseen (ks. kuvio 1). Caverion suunnittelee, toteuttaa ja ylläpitää kiinteistö-tekniikan palveluita kiinteistöihin niiden koko elinkaaren ajalle. Lähtökohtaisesti Caverion pyrkii ratkaisuihinsa ja palveluihinsa energiatehokkuuteen, jota pidetäänkin myyntivalttina ympäristömääräysten tiukentuessa ja energiakustannusten kasvaessa. (Tietoa Caverionista 2013.)

Caverion toimii 13 maassa: Suomessa, Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa, Virossa, Latviassa, Liettussa. Venäjällä, Saksassa, Itävallassa, Tšekissä, Puolassa ja Romaniassa. Toimipisteitä Caverionilla on 35. (Tietoa Caverionista 2013.)

Avainlukuja vuodelta 2012 (carve-out)

Liikevaihto, milj. e	2 803,2
Käyttökate (EBITDA), milj. e	85,3
% liikevaihdosta	3,0
Liikevoitto, milj. e	61,1
% liikevaihdosta	2,2
Operatiivinen kassavirta	40,5
Henkilöstö kauden lopussa	18 614

(Tietoa Caverionista 2013.)



Kuvio 1. Caverion Oy:n historia (Tietoa Caverionista 2013).

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää reaaliaikaisen mittalaitteen käyttäytymistä märkään betoniin asennettaessa. Tarkoituksena oli selvittää, kuinka luotettava laite käytännössä on, ja millaisia epävarmuustekijöitä mittauksiin sisältyy.

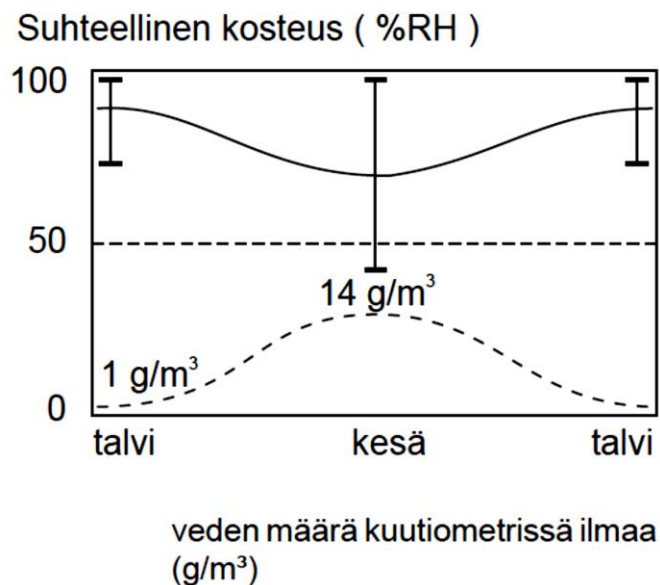
Useat tekijät vaikuttavat mittausten onnistumiseen, mutta lähtökohtaisesti luotettava mittalaite on ensiarvoisen tärkeä väline luotettavien tulosten aikaansaamiseksi. Opinnäytteessä pohdittiin paitsi mittalaitteiston toimivuutta, myös muita tekijöitä, jotka mahdollisesti aiheuttavat vääriä mittaustuloksia.

2 Kosteus

Kosteudella tarkoitetaan kemiallisesti sitoutumatonta vettä. Vesi esiintyy kolmessa eri olomuodossa: kaasumaisena (vesihöyry), nestemäisenä tai kiinteänä (jäätyneenä). Kosteuden määrä ilmoitetaan painoprosentteina, joka kuvaa tiettyyn aineeseen sitoutuneen kosteuden massan suhdetta kuivan aineen massaansa verrattuna. (RT 05-10710 1999, 1.)

2.1 Suhteellinen kosteus

Suhteellinen kosteus (RH %) on ilmassa olevan vesihöyryn määrän suhde ilman lämpötilaa vastaavaan kyllästyskosteuteen. Kyllästyskosteudella taas tarkoitetaan sitä vesihöyryn määrää, jonka ilma voi tietyssä lämpötilassa itseensä sitomaan tiivistymättä nesteeksi. Talvella ulkoilman suhteellinen kosteus (RH%) on suurempi ja ilma sisältää enemmän vesihöyryä kuin kesällä (ks. kuvio 2). Ilman viiletessä ilman sisältämä vesihöyry tiivistyy kiinteän rakennusosan pintaan tai sen ilmahuokosiin, koska ilman kosteus on suurempi kuin ilman lämpötilaa vastaava kyllästyskosteus, tätä ilmiötä kutsutaan *konzensoitumiseksi*. (RT 05-10710 1999.)



Kuvio 2. Suhteellinen kosteus eri vuodenaikoina (RT 05-10710 1999, 2).

2.2 Absoluuttinen kosteus

Absoluuttinen kosteus ilmaisee, montako grammaa vesihöyryä sisältyy kuutiometriin ilmaa. Yksikkönä käytetään grammoja kuutiometrissä. (Ilmatieteenlaitos, teematietoa.)

Absoluuttinen kosteus (AH) voidaan laskea seuraavalla tavalla:

$$AH = \frac{m_t - m_k}{V_k} = \frac{m_v}{V_k},$$

missä

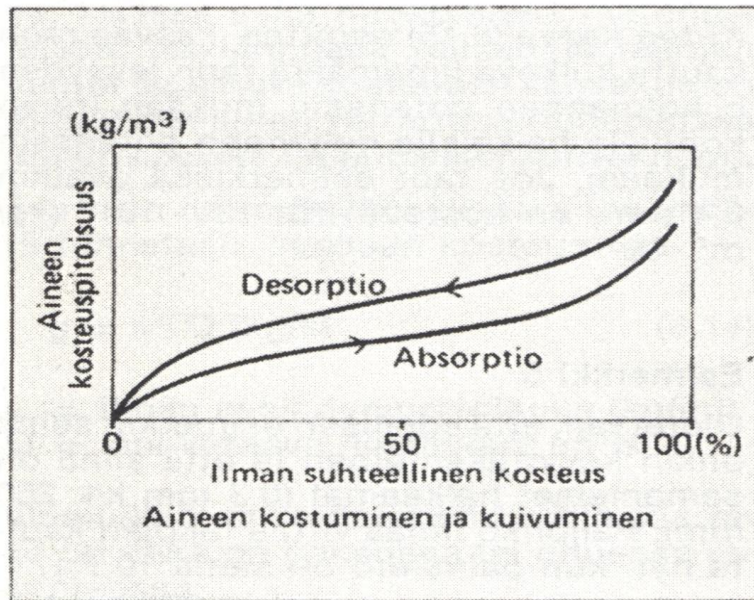
- m_t on kostean aineen massa
- m_k on kuivan aineen massa
- V_k on kuivan aineen tilavuus
- m_v on aineen sisältämän vesihöyryn massa.

(Wikipedia, absoluuttinen kosteus.)

2.3 Hygroskooppinen tasapainokosteus

Hygroskooppisella kosteudella tarkoitetaan materiaaliin ilmasta sitoutunutta kosteutta. Kosteuspitoisuus pyrkii tasaantumaan ympäristön suhteellisen kosteuden kanssa ja saavuttamaan tasapainotilan, jossa se ei enää luovuta eikä ota vastaan kosteutta. Tätä tilaa kutsutaan hygroskooppiseksi kosteustasapainoksi. (Björkholtz 1997, 60.)

Eri materiaaleilla on eri tasapainokosteus (ks. kuvio 3) ja se on riippuvainen tilan lämpötilasta sekä siitä, onko kyse kostumisesta (absorptio) vai kuivumisesta (desorptio). Käytännössä orgaanisilla aineilla hygroskooppisuus on suurempi kuin epäorgaanisilla materiaaleilla. Tätä prosessia kuvataan tasapainokosteus- eli sorptiokäyrillä. (Björkholtz 1997, 60.)



Kuvio 3. Desorptiokäyrä (Björkholtz 1997 ,60).

Orgaanisen ja epäorgaanisen ainekerroksen yhdistäminen rakenteessa on riski kosteusvauriolle. Jos vaikka puu on suoraan kosketuksessa betonipinnan kanssa, tiivistyy betonin kosteus puupintaan, jolloin voi aiheutua kosteusvaurio. Orgaaniset ja epäorgaaniset materiaalit pyritäänkin erottamaan toisistaan esimerkiksi bitumikaistaleen avulla, jotta kosteuden siirtyminen pysähtyisi. Kun rakenne on hyvin vesihöyryä läpäisevä, se on hygroskooppinen. (Björkholtz 1997, 60.)

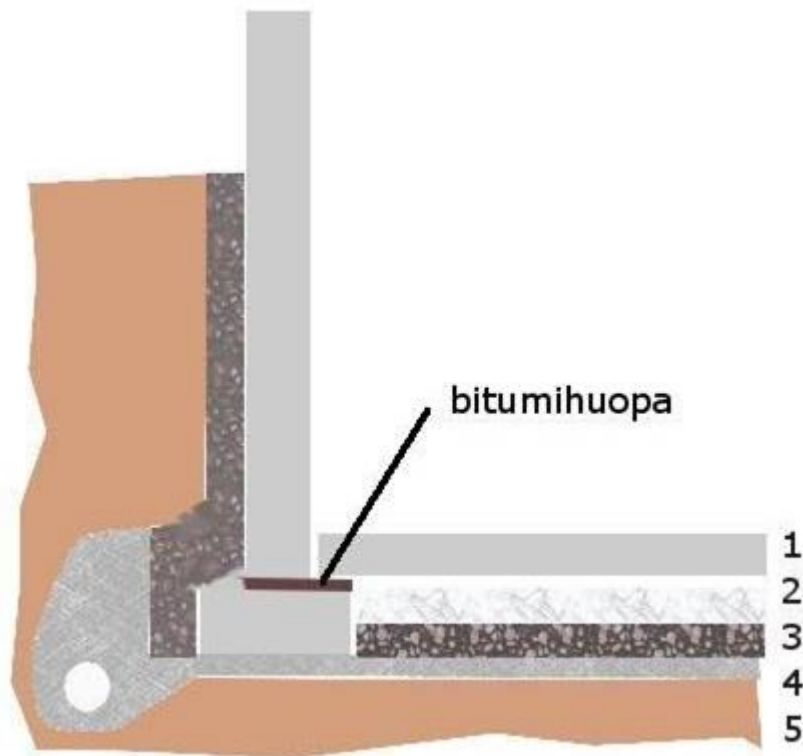
2.4 Kapillaarisuus

Kapillaarisuudella tarkoitetaan, että neste pyrkii siirtymään huokosissa ylöspäin.

”Kapillaarivoima aiheuttaa veden imeytymisen kiinteän materiaalin huokosiin. Kapillaarivoima on tehokas veden kuljettaja. Kapillaarivoima johtuu vesimolekyylien ja kiinteän aineen välisestä vetovoimasta.” (haistahome, kapillaarisuus.)

Kapillaarisuus riippuu materiaalin huokosten koosta. Mitä pienempiä huokokset materiaalissa ovat, sitä suurempi on sen kapillaarinen nousu tai vaakasuun-

tainen etenemä. Esimerkiksi maa-aineksissa kapillaarisuus riippuu raekoosta: karkea sora ei jaksa kuljettaa vettä kapillaarisesti suurissa huokosissaan, kun taas hienossa hiekassa pienet huokokset nostattavat vettä tehokkaasti. Kuviossa 4 on esitetty kapillaarikatko ainekerroksessa 3, joka estää veden nousun rakenteisiin kapillaarisesti.



Kuvio 4. Kapillaarikatko (Rintamamiestalo, uuden perusmuurin kapillaarikatkot).

2.5 Kosteus sisällä ja ulkona

Ulkoilman kosteutta mitataan ilman vesihöyrypitoisuutena (vk) tai ilman suhteellisenä kosteutena (RH%). Pakkasilmalla ilma ei pysty sitomaan vesihöyryä itseensä yhtä paljon kuin kesäaikaan. Tästä syystä ilma tuntuu kuivemmalle, kuin suhteellinen kosteus antaa ymmärtää.

Sisäilman kosteus muodostuu ulkoilman kosteudesta ja ihmisen toiminnallaan aiheuttamasta kosteuslisästä, kuten tiskaamisesta tai pyykinpesusta. Lisäksi sisäilman olosuhteisiin vaikuttavat ilmanvaihto sekä tilan tilavuus.

Ihmisille tulee usein pakkasilmalla epämiellyttävyyden tunteita johtuen sisäilman kuivuudesta, ja yleensä syitä pyritään etsimään liian tehokkaasta ilmanvaihdosta. Kuivuus kuitenkin johtuu suurelta osin ulkoilman kuivuudesta sekä tarpeesta lämmittää sisäilma liian lämpimäksi, jopa yli +23-asteiseksi. Mikäli sisäilmaa ryhdytään kostuttamaan keinotekoisesti, sen haitat voivat olla hyötyjä suuremmat. Kostuttimissa seisova vesi antaa oivan kasvualustan bakteereille, ja levitessään sisäilmaan vaikutukset ovat negatiiviset. Mikäli ilmanvaihto on säädetty minimiinsä, sisäilmaan muodostuu liikaa kosteutta, joka taas tiivistyessään pinnoille voi aiheuttaa homekasvustoa. (Lappalainen 2010, 74.)

2.6 Rakennuskosteus

Rakennuskosteudella tarkoitetaan rakentamisen aikana rakenteisiin tai rakennusaineisiin sitoutunutta kosteutta, jonka tulisi päästä poistumaan. Rakennuskosteus aiheuttaa kosteusvaurioita useimmissa tapauksissa, kun rakennuskosteus ei ole päässyt haihtumaan rakennusosasta ennen pinnoittamista. (RT 05-10710 1999, 5.)

Rakennusosiin jäävä ylimääräinen kosteus voi aiheutua esimerkiksi, kun

- lattiapäällyste on asennettu liian kostean betonin päälle
- maalaustyöt on tehty ennen rakennusosien kuivumista
- rakennustarvikkeita- tai osia ei ole suojattu riittävästi sateelta
- puurakenteet on tehty liian kosteasta puutavarasta (RT 05-10710 1999, 5).

”Kosteusvaurioiden välttämiseksi betonilattioiden tulee antaa kuivua tai niitä on kuivatettava riittävästi ennen päällystys- tai pinnoitustyöhön ryhtymistä” (Suomen Rakentamis-määräyskokoelma C2 1998). Virheellisesti tulkittu tai määritetty kuivumisaika voi johtaa aikataulujen viivästymiseen, joka vaikuttaa työmaan kustannuksiin merkittävästi. Viivästyminen vaikuttaa useiden urakoitsijoiden työn aloitukseen, kuten pääurakoitsijan, siivousliikkeen, putkiurakoitsijan, parketti- ja mattoasentajien, alakattoasentajien sekä listoittajien työn alkuun. (Merikallio 2009, 12). Toisaalta liian kostean betonin pinnoittaminen ai-

heuttaa kustannuksia myöhemmin, kun ilmenee kosteusvaurioita ja sisäilma-ongelmia, jotka taas ajavat riitatilanteeseen, kun selvitetään kuka vastaa ja mistä. Oikeudenkäyntikulut sekä työn suorittaminen uudestaan ovat turhia menoeriä ja aiheuttavat negatiivista mainetta yritykselle.

3 Työmaan kosteudenhallinta

Työmaan kosteudenhallinnalla pyritään ehkäisemään ensisijaisesti aikatauluviiveitä, kosteusvaurioiden syntymistä, materiaalihukkaa sekä turhaa kuivaustarvetta. Kosteudenhallinnan tarkoituksena on taata rakennuksen käyttäjille turvallinen ja terveellinen ympäristö sekä saada aikaan rakennuskustannuksellisia säästöjä.

Kosteudenhallinnan suunnittelu alkaa jos suunnitteluvaiheessa, jolloin käydään läpi työmaan rakennedetailit ja arvioidaan niiden riskialttiutta kosteusteknisestä näkökulmasta. Suunnitelmien pohjalta voidaan tarkentaa työvaihetta esimerkiksi suojauksen tai kuivatuksen osalta. (Sisäilmayhdistys, työmaan kosteudenhallinta.)

Rakenteiden kuivumisaika-arvioiden perusteella ohjataan työmaata ottamaan huomioon eri rakenteiden kuivumisaika suunniteltaessa työmaa-aikatauluja. Tarvittaessa ohjataan tehostamaan kriittisten rakenneosien kuivatusta. (Sisäilmayhdistys, työmaan kosteudenhallinta.)

Lisäksi työmaalla ohjataan minimoimaan rakenteisiin kohdistuvat olosuhteiden rasitukset. Olosuhteiden huomioimisessa erityisen tärkeään osaan nousee suojaustoimenpiteet. Kunnollisella suojauksella paitsi turvataan rakenteiden oikea kuivuminen, myös parannetaan työntekijöiden työolosuhteita, joka taas parantaa työ mukavuutta ja parantaa työntekijöiden tehokkuutta. (Sisäilmayhdistys, työmaan kosteudenhallinta.)

Olenaisena osana työmaan kosteudenhallintaa on myös kosteusmittaus-suunnitelma, jonka avulla varmistutaan siitä, että rakenteet ovat kuivuneet suunnitellusti. (Sisäilmayhdistys, työmaan kosteudenhallinta.)

Työmaan kosteudenhallintasuunnitelman toteuttamisesta vastaa vastaava mestari. Kosteudenhallinnan toteuttaminen taas kuuluu työmaalla toimiville työnjohtajille sekä työntekijöille. Työmaalla toimiville tulisikin järjestää riittävästi koulutusta sekä informaatiotilaisuuksia kosteudenhallintaan liittyen, jotta he ymmärtäisivät tarpeettoman kastumisen riskit lopputuloksen kannalta. (Sisäilmayhdistys, työmaan kosteudenhallinta.)

Kosteusmittaajan tulee osata rakennusfysiikan käsiteitä, jotta voi ymmärtää betonin kosteuskäyttäytymistä. Rakennusfysikaaliset ominaisuudet ovat suoraan suhteessa ilman lämpötilaan ja suhteelliseen kosteuteen. (Sisäilmayhdistys, työmaan kosteudenhallinta.)

4 Betonin raaka-aineet

Kiviaines

Betonin kiviaineksena Suomessa käytetään luonnon kiviainesta. Kiviaines voi olla luonnonsoraa, kalliosta irrotettua mursketta tai luonnon hiekkaa. Betonin kiviaineksen tulee olla CE-merkittyä, eikä se saa sisältää orgaanisia ainesosia, kuten humusta. (Sisäilmaseminaari 2014 julkaisu.)

Sementti

Betonin valmistukseen on käytettävissä useita erilaisia sementtejä. Sementtityyppejä saadaan aikaan seostamalla eri ainesosia, kuten kalkkikivijauhetta, masuunikuonaa tai kalkkia. (Sisäilmaseminaari 2014 julkaisu.)

Muut sideaineet

Betonin ominaisuuksia voidaan muovata käyttämällä epäorgaanisia sideaineita, kuten lentotuhkaa tai silikaa. Sideaineiden tarkoituksena on muovata betonin ominaisuuksia paremmiksi. (Sisäilmaseminaari 2014 julkaisu.)

Vesi

Tärkeää betonin kovettumisen kannalta on käyttää puhdasta vettä. Käytännössä veden tulisi olla juomakelpoista ja se ei saisi sisältää orgaanisia epäpuhtauksia. (Sisäilmaseminaari 2014 julkaisu.)

Lisäaineet

Betonin ominaisuuksia voidaan säädellä laajalti erilaisten lisäaineiden avulla. Niillä voidaan säädellä esimerkiksi notkeutta tai kovettumisen nopeutta. Lisäksi betoneihin voidaan lisätä väripigmenttiä, mikäli betonin sävyä halutaan muuttaa. (Sisäilmaseminaari 2014 julkaisu.)

5 Betonin päällystettävyyys

5.1 Nykymääräykset

Hanketta toteuttavan urakoitsijan tulee noudattaa työlle asetettuja viranomaismääräyksiä. Perustana määräyksille toimii *maankäyttö- ja rakennuslaki*. Maankäyttö- ja rakennuslakia on täydennetty *Suomen rakentamismääräyskoelmalla*, joka sisältää täydentäviä määräyksiä ja ohjeita. Ohjeet eivät ole velvoittavia vaan myös vaihtoehtoisia ratkaisuja voidaan käyttää, mikäli se täyttää Maankäyttö- ja rakennuslaissa rakentamiselle asetetut määräykset. (Merikallio 2009, 42-46.)

Kosteusmittauksia toteutettaessa ohjeistusta antaa Rakentamismääräyskoelman osa *C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998*. Määräykset ohjaavat siihen, että rakennukset tulisi suunnitella ja toteuttaa niin, ettei niihin muodostuisi riskirakenteita kosteuden kertymisen suhteen. Rakentamismääräyksissä on vaatimus rakenteiden kuivumiselle:

”Kosteiden rakenteiden ja rakennekosteuden on annettava kuivua tai rakenteita on kuivatettava riittävästi, ennen kuin ne peitetään kuivumista hidastavalla ainekerroksella tai pinnoitteella.” (Merikallio 2009, 42-46.)

Maankäyttö- ja rakennuslaki edellyttää, että työmaalla käytetään rakennustyömaan tarkastusasiakirjaa. Tarkastusasiakirjaan tulisi merkitä kaikki työmaalla toimitetut katselmukset sekä viranomaistarkastukset. Asiakirjoista tulisi löytyä rakennusaikaisen kosteuden haitallisten vaikutusten ehkäiseminen sekä rakennuksen kuivatuksen varmistaminen. Ohjeet ohjaavat turvalliseen, terveelliseen ja laadukkaaseen rakentamiseen lain ja sen nojalla annettujen määräysten ja säännösten avulla. (Merikallio 2009, 42-46.)

Rakennuslaissa on määrätty, että tulee noudattaa *hyvää rakennustapaa*. Laissa ei kuitenkaan ole määriteltä yksityiskohtaisesti, mitä *hyvä rakennustapa* pitää sisällään. Tämä ohje on siis antaa mahdollisuuden hyvin erilaisiin tulkitoihin ja riippuu täysin määrittäjästä. Tarkoituksena olisi kuitenkin pyrkiä hyvään ja laadukkaaseen lopputuotteeseen. Rakennuttajan vastuulle jää määrit-

tää, ovatko heille toimivat urakoitsijat ammattitaitoisia ja onko suunnitelma-asiakirjat luotettavat ja *hyvän rakennustavan* mukaiset. Urakoitsijan osaamiseen luottaminen onkin erityisen tärkeää, sillä sopimusasioita ohjaavat *yleiset sopimusehdot* (YSE) määrittävät, että takuuajan umpeuduttua urakoitsija vastaa vain törkeistä rakennusvirheistä tai sopimuksessa määritellyistä toteuttamattomista töistä. (Merikallio 2009, 42-46.)

5.2 Pinnan päällystettävyyys

Mikrobit tarvitsevat kasvaakseen vettä ja ilman suhteellisen kosteuden ollessa yli 70 %, homeiden kasvu on todennäköinen. Materiaalin paikallisella kosteudella on kuitenkin suurempi merkitys mikrobien kasvulle kuin suhteellisella kosteudella. Mikrobeille soveltuu ravinnoksi lähes mikä tahansa orgaaninen aines, tästä syystä pintojen puhdistaminen ennen pinnoittamista on erityisen tärkeää.

Rakenteellisesti betonin valinnassa tulee huomioida sen lujuus, työstettävyyys sekä kuivumiskäyttäytyminen. Lujuudeltaan betonin tulee olla sopiva pinnoittamiselle. Tuotannollisesta näkökulmasta betonivalinnassa tulee huomioida valettavuus, tiivistettävyyys, ulkoiset olosuhteet sekä kuivumisnopeus. Päällystettävien betonilattioiden valinnassa tulee huomioida betonin vetolujuuskestävyys, kutistuminen sekä kuivumisnopeus. Betonin valinnalla on siis merkitystä aina massan valmistusvaiheesta pinnan jälkihoitoon saakka. (Parnanen 2011, 11.)

Lattiamateriaalin päällystyshetki asettaa alusbetonin kosteudelle vaatimuksensa. *SisäRYL 2000* -julkaisun ohjeen mukaan (SisäRYL2000, 332) betonialustan kosteus mitataan suhteellisena kosteutena Rakennustietosäätiön julkaiseman ohjekortin RT 14–10675 *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* mukaisesti. Ohjekortissa on kuitenkin maininta: *Alustan kosteuden enimmäisarvoissa sovelletaan ensisijaisesti päällysteen, verhoustarvikkeen tai maalin valmistajan ohjetta kyseille tarvikkeille.*

Ristiriidan ohjeisiin tuo se, että valmistajilla saattaa olla eri ohjearvot samoille tuotteille (ks. kuvio 5). (Merikallio 2009, 36-38.)

Taulukko 1. Eri julkaisuissa ilmoitettuja päällystemateriaalikohtaisia alustabetonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvoja.

Alustabetonin suhteellisen kosteuden RH (%) enimmäisarvot päällystyshetkellä				
Päällystemateriaali	SisäRYL 2000	by45/BLY7 Betoni lattiat 2002	by 47 Betoniraken- tamisen laatuohjeet 2007 ¹⁾	Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet (2007) ^{1) 2)}
Alustaan liimattava lautaparketti (ilman puun ja betonin välistä kosteudeneristystä)	60 %	85 %	-	85 % (normaalibe- toni) 90 % (v/s < 0,5)
Mosaikkiparketti	80 %	80 % (pinta < 75 %)	85 % 90 % (v/s < 0,5)	85 % 90 % (v/s < 0,5)
Kelluva lautaparketti (puun ja betonin välissä kosteudeneristys)	80 %	90 %	85 % 90 % (kost. kestävä tasoite tai ei tasoitetta)	85 %
Laminaatti (puun ja betonin välissä kosteudeneristys)	80 %	-	85 %	85 %
Huopa ja solumuovipoh- jaiset muovimatot	85 %	85 %	85 %	85 %
Muovimatot ilman huo- pa- tai solumuovipohjaa	90 %	90 %	85 %	85 %
Kumimatot	85 %	85 %	85 %	85 %
Linoleumi	90 %	90 %	85 %	85 %
Tekstiilimatot, joissa alusrakenne	85 %	85 %	85 %	85 %
Täyssynteettiset tekstii- limatot ilman alusraken- netta	90 %	90 %	90 %	90 %
Muovilaatat	90 %	90 %	90 %	90 %

1) Kaikkien materiaalien kohdalla edellytetään lisäksi, että betonin suhteellinen kosteus rakenteen pinta-
osissa 1-3 cm:n syvyydellä on alle 75 %.

2) Julkaisussa *Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen (2007)* on samat arvot.

Taulukko 1. Suhteellisen kosteuden enimmäisarvot (Merikallio, 2009, 37).

5.3 Betonin kuivuminen

Betonin valmistamisessa käytetään vettä enemmän, kuin mitä sementin ja veden välinen sitoutuminen eli hydratoitumisreaktio vaatii. Betonimassa kuitenkin vaatii ylimääräisen veden, jotta se olisi työstettävissä ja betonin sitoutuminen olisi mahdollinen. Ylimääräisen veden tulee haihtua betonista pois, ennen kuin se on päällystettävissä.

Betonin kuivumiseen vaikuttavat useat eri tekijät, joista merkittävimmät ovat

- betonin ominaisuudet (vesi-sementtisuhte, lisäaineet)
- kuivumisolosuhteet: suhteellinen kosteus (RH %) ja lämpötila
- rakenneratkaisut.

Pääasiassa betonin sisältämä kosteus on peräisin valmistuksessa käytetystä vedestä, mutta siihen vaikuttavat myös rakennusaikaiset olosuhteet sekä maanvastaisilla rakenteilla maaperän kosteus.

Betonin pinta tulee pitää puhtaana, etteivät pöly tai ylimääräiset rakennusmateriaalit sen pinnalla estä veden haihtumista betonista. Mikäli betonin pintaan pääsee sääolosuhteista johtuen vettä tai lunta, se tulee poistaa mekaanisesti.

Betonin kuivuminen tapahtuu kolmessa eri vaiheessa. Nopeinta kuivuminen on heti betonin pinnalta. Ensimmäisessä vaiheessa betonista haihtuu kosteutta pinnasta heti valun jälkeen. Aluksi kosteus siirtyy betonissa kapillaarisesti, jolloin vesi siirtyy kohti pintaa imeytymällä. (Haistahome, kosteus materiaalin huokosissa.)

Toisessa vaiheessa kuivumista betonin pinta pyrkii hygroskooppiseen tasapainokosteuteen ympäristön kanssa ja haihduttava rintama siirtyy syvemmälle betoniin. Tässä vaiheessa kosteus siirtyy vesihöyrynä diffuusion avulla kohti pintaa. (Haistahome, kosteus materiaalin huokosissa.)

Mitä syvemmälle haihduttava rintama siirtyy, sitä hitaampaa on betonin kuivuminen. Ja mitä paksumpi betonirakenne on kyseessä, sen pidempään kuivuminen kestää. (Haistahome, kosteus materiaalin huokosissa.)

Kolmannessa vaiheessa kosteus liikkuu vesihöyrynä betonin huokosissa ja pyrkii edelleen kohti pintaosia. Betonin kuivuminen on hidasta ja tasapainokosteuden saavuttamiseen voi kulua vuosia. Betonin pinnoittaminen hidastaa kuivumista entisestään. (Haistahome, kosteus materiaalin huokosissa.)

Betonin kuivumisella on olennainen merkitys työmaan aikataulutuksessa ja ihanteellista olisikin, että pinnoituskuivumisen voisi määrittää tarkalleen aikataulutuksia suunniteltaessa. Käytännössä Suomen vaihtelevat ilmasto-olosuhteet vaikeuttavat betonin kuivumisen ennustettavuutta ja tästä syystä kosteuden mittaamista pyritään kehittämään jatkuvasti. (Haistahome, kosteus materiaalin huokosissa.)

6 Kosteusmittausten kehitys

Vuonna 1990 ilmestynyt VTT:n tiedote ”Betonin sallittu suhteellinen kosteus päällystystyötä aloitettaessa” lähteenä on käytetty ”By12 Betonilattiat, luokitushjeet, päällystettävyysohjeet” julkaisua, jonka arvot ovat perustuneet valmistajien antamiin tuotetietoihin sekä käytännön kokemuksiin vuosilta 1979-1981. (Merikallio 2009, 47-54.)

Kosteusraja-arvot perustuivat tasapainokosteuskäyriin, joiden arvot oli muutettu suhteellisen kosteuden arvoiksi. Tieteellisiä koesarjoja suhteellisen kosteuden mittaamiseksi eri materiaaleilta ei siis olla tehty, vaan ne ovat perustuneet kirjallisiin tutkimuksiin. Vuoden 1981 julkaisun ”Betonilattioiden päällystettävyyss” taulukko betonin suhteellisesta kosteudesta on säilynyt lähes muuttumattomana aina julkaisuun SisäRyl 2000 saakka. (Merikallio 2009, 47-54.)

Suomessa kosteuden mittauskäytäntö vakiintui vuonna 1998, kun julkaistiin Rakennustietosäätiön RT 14-10675 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus ohjekortti, jota myös SisäRyl 2000 ohjeistaa käytettäväksi. Rakenteen kosteutta ohjattiin mittaaman suhteellisena kosteutena. Ennen ohjekortin ilmestymistä kosteutta voitiin mitata myös painoprosentteja mittaavilla menetelmillä. Myös mittaussyvyyskäytäntö vakiintui ohjekortin ilmestyttyä. (Merikallio 2009, 47-54.)

7 Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen

7.1 Yleistä

Suhteellisen kosteuden mittauksilla selvitetään, kuinka paljon betonissa on vielä kosteutta ympäristöön nähden. Suhteellisen kosteuden selvittämisellä voidaan päätellä, milloin betoni on pinnoitettavissa. Eri materiaaleille on annettu kosteusraja-arvoja, joiden mukaan betoni voidaan pinnoittaa. (Huovanainen 2012, 13.)

Sisäilmaan kosteuden vaikutuksesta päässeet emissiot johtuvat suurimmaksi osaksi rakenteiden pintakäsittelyyn ja päällystykseen käytettyjen tuotteiden päästöistä eikä niinkään pohjabetonista. Tämän vuoksi on erityisen tärkeää noudattaa suhteellisen kosteuden ohje-arvoja. (Sisäilmaseminaari 2014 julkaisu, 143.)

Suhteellisen kosteuden mittaustulosten tarkkuuteen vaikuttavat mittalaitteen kunto ja kalibrointi sekä mittausreiän puhdistus, tiivistys ja tasaantuminen. Mittausolosuhteet ovat myös oleelliset mittausten onnistumisen kannalta. Lisäksi kosteusmittaajan osaaminen työn suorituksessa ja tulosten tulkinnassa vaikuttaa lopputuloksiin. (Huovanainen 2012, 14.)

Betonin kosteusmittauksia tehdään valun alkupäivinä, jolloin saadaan mittausten alkutilanne. Lisäksi betoniin tehdään seurantamittauksia, jolla voidaan ennustaa kuivumisen etenemistä. Lopuksi mitataan betonin päällystettävyyttä, jolloin saadaan tietää, voidaanko betoni pinnoittaa halutulla tuotteella.

7.2 Määräykset ja ohjeet

Betonirakenteen riittävä kuivuminen ennen pinnoittamista voidaan määrittää luotettavasti vain mittaamalla betonin suhteellinen kosteus. Suhteellisen kosteuden mittaamenetelmät voidaan jakaa tarkkoihin tai suuntaa antaviin mittauksiin.

Tarkkoja mittaamenetelmiä ovat porareikämittaus sekä näytepalamittaus. Nämä menetelmät ovat ainetta rikkovia menetelmiä ja varsin työläitä. Mittaajan tulee ennen varsinaista mittausta selvittää ammattitaitoonsa perustuen mittapistet ja kirjata niistä mittaussuunnitelma. (RT 14-10984 2010, 3-6.)

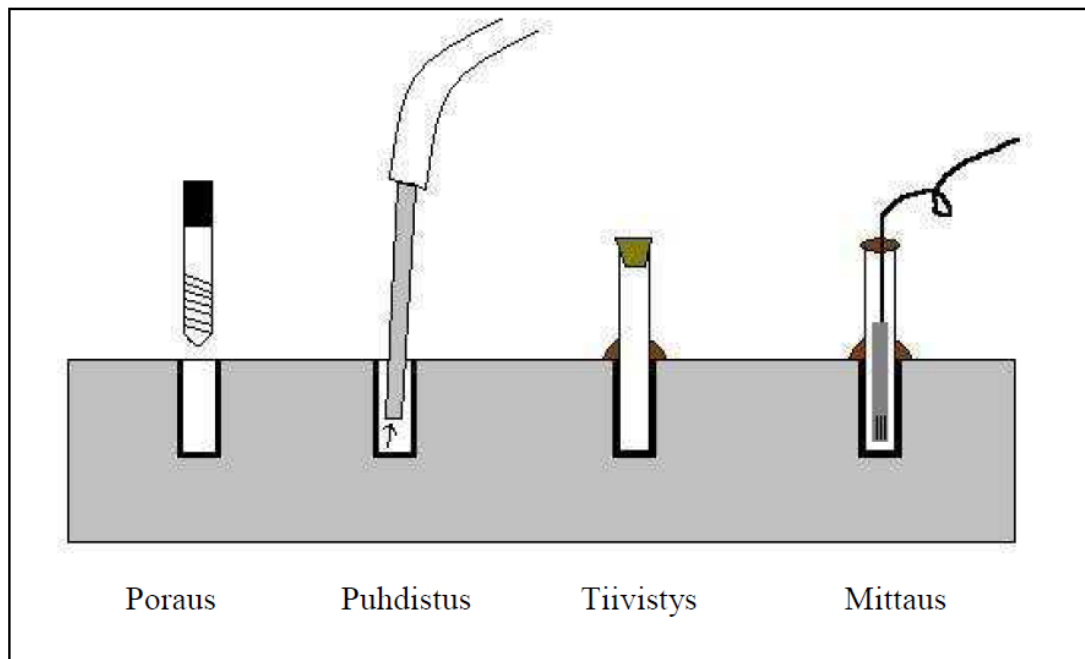
Suuntaa antavia menetelmiä ovat esimerkiksi

- tarkastelut pintakosteusilmaisimella
- mittaus putkittamattomasta reiästä
- mittaus valuun asennetusta mittaputkesta
- mittaaminen jatkuvasti betonin sisällä olevalla anturilla.

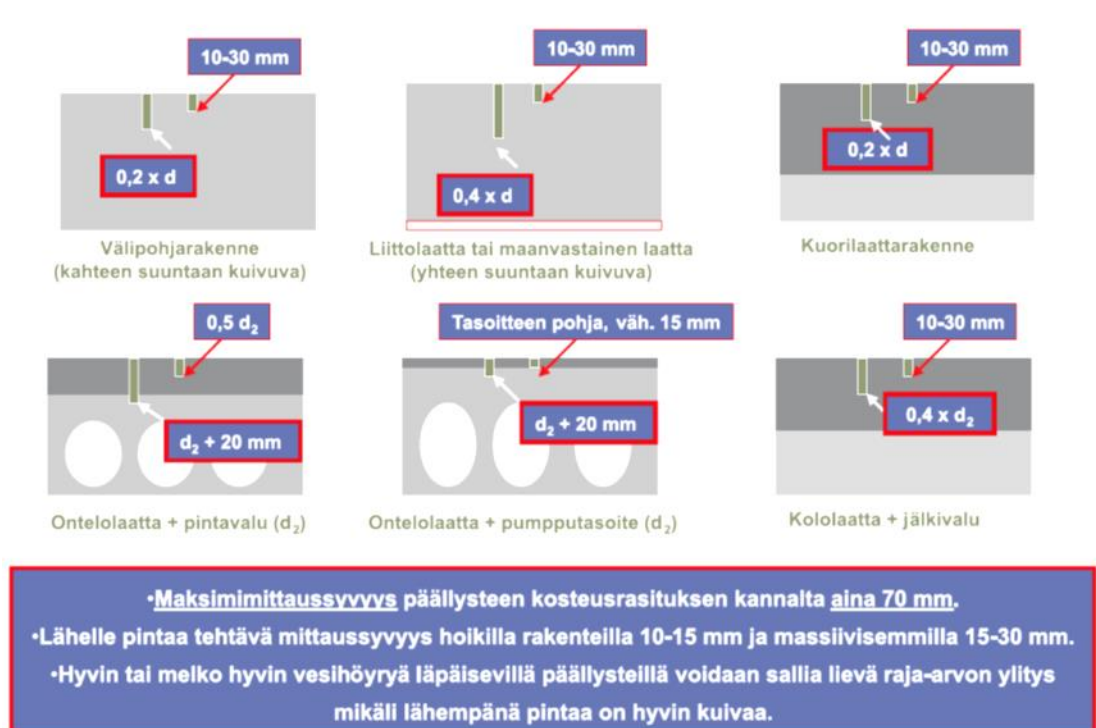
(RT 14-10984 2010, 3-6.)

7.3 Porareikämittaus

Tavallisimmin betonin kosteutta mitataan poraamalla betoniin reikä, josta suhteellinen kosteus mitataan mittalaitteen avulla. Porareikämittaus (ks. kuvio 6) tehdään kuivaan betoniin niin, että poratun reiän annetaan tasaantua muutama päivä ennen mittausta, jotta ylimääräinen kosteus pääsee tasaantumaan mittauskohdasta. Mittaus tulisi suorittaa +15 - +25 °C. Mittaussyvyyydet riippuvat rakenteesta ja sen paksuudesta (ks. kuvio 7). (Huovanainen 2012, 15.)



Kuvio 5. Porareikämittaus (Huovanainen 2012, 16).

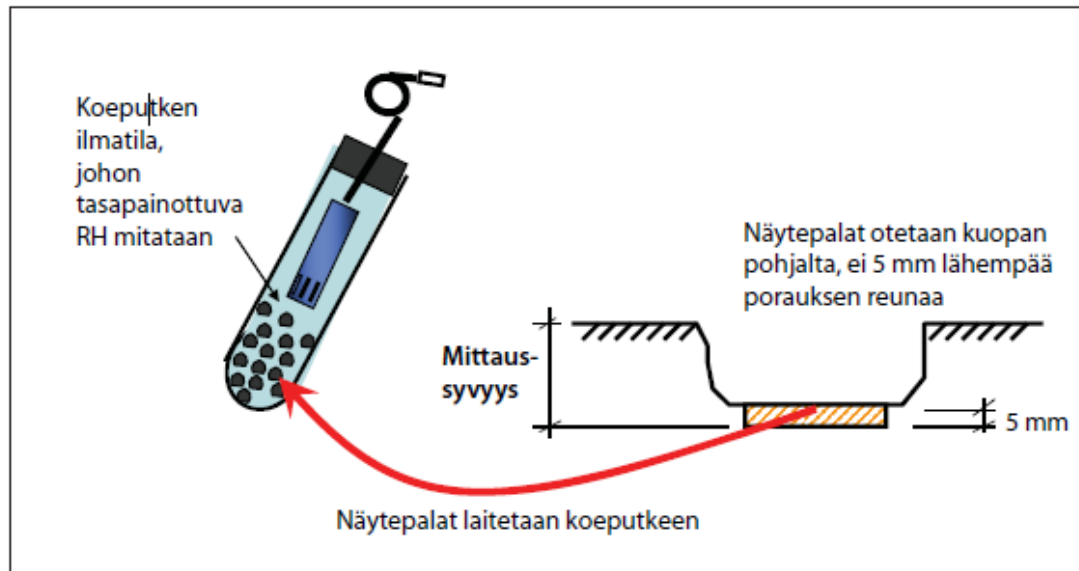


Kuvio 6. Mittaussyvydet rakenteesta riippuen (RT 14-10984 2010, 14).

7.4 Näytepalamittaus

Betonin suhteellista kosteutta voidaan mitata myös näytepalamittauksin (ks. kuvio 8). Näytepalamittausta käytetään yleensä, kun olosuhteet eivät ole suotuisat porareikämittauksille.

Näytepalamittauksessa halutusta mittapaikasta porataan halkaisijaltaan noin 150 mm reikä mittasyvyyteen saakka. Halutulta mittasyvyydeltä irrotetaan murusia, jotka laitetaan tiivistettyyn koeputkeen mitta-anturin kanssa. Näytteenot-toputket siirretään +20 °C vakioämpötilaan tasaantumaan 2-12 tunniksi, jonka jälkeen näytteestä voidaan lukea mittatulokset. Näytemäärän tulisi olla vähintään 33% näyteputken tilavuudesta. (Huovanainen 2012, 16-17.)



Kuvio 7. Näytepalamittaus (RT 14-10984 2010, 7).

7.5 Epävarmuustekijät

Betonin kosteus on paljon keskustelua herättänyt aihe rakennusmaailmassa. Betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät ovat hyvin tiedossa ja tutkimuksia betonin kuivumisesta on tehty laajalti. Betonin kuivumisessa keskustelua ovat herättäneet kuivumisnopeus, kosteusraja-arvot sekä kosteuden mittaustavat.

Betonin kuivumisen laatuun ohjeistavia opuksia on julkaistu, joista esimerkkinä SisäRYL 2000 -rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. SisäRYL 2000 ohjeistaa, että betonialustan kosteus mitataan suhteellisenä kosteutena ennen päällystystöiden alkua. Suhteellisen kosteuden mittaukseen on julkaistu lisäksi RT-ohjekortti, RT 05-10710.

Betonin kosteudesta tehdyt tutkimustulokset sekä ohjekorttien sisältö eivät aina ole päässeet kentälle saakka ja työmailla suoritettavissa kosteusmittauksissa sekä tulosten tulkinnoissa onkin puutteita. (Niemi 2006.)

Kosteuksien raja-arvoissa on eri valmistajilla suuriakin eroja, vaikka tuote olisi käytännössä sama. Tämä johtuu siitä, että osalla valmistajista raja-arvot ovat peräisin jopa 1980-luvulta, vaikka mittaustavat ovat nykyisin muuttuneet. Kun esimerkiksi 1980-luvulta peräisin olleessa suosituksessa on pinnoitus-suosituksena RH 80%, joka tänä päivänä olisi 90%, se tulkitaan niin, että ny-

kybetonit kuivuisivat tehokkaammin. Totuus on, että mittaustavat ovat muuttuneet niin, että suhteellinen kosteus on todellisuudessa korkeampi kuin aiemmin on mitattu. Tämä on aiheuttanut tulkintaeroja työmailla, joka on aiheuttanut työvirheitä kentällä. (Niemi 2006.)

Mittalaitteista aiheutuvia virheitä tapahtuu myös, sillä joissain kohteissa betonin pinnoitettavuutta mitataan edelleen kosteuden mittaamiseen soveltumattomalla pintakosteusmittarilla, jonka tulisi olla ainoastaan suuntaa antava mittatapa. Lisäksi mittaussyvyyksissä on tulkintaeroja, jotka ajavat väärin tuloksiin, vaikka mittalaite olisikin sopiva ja mittaus muuten oikein suoritettu. Lisäksi mittalaitteen kalibrointi olisi todella tärkeää, jotta mittaustulokset olisivat oikeat. (Niemi 2006.)

Yleisesti kiire, piittaamattomuus sekä oikeaan mittatapaan ohjeistava koulutuksen ja ohjeistuksen puute ovat ajaneet kosteudenmittaamisen siihen, että lukuisat tutkimustulokset eivät ole päässeet työmaille saakka. Lisäksi asenne ”*näin me ollaan aina tehty*” ei edesauta laadukkaisiin ja oikeaoppisiin kosteusmittauksiin.

7.6 Mittauspöytäkirja

Betonivalun kosteusmittauksista tulisi pitää mittauspöytäkirjaa laadun varmistamiseksi. Pöytäkirjan tulisi olla selkeä ja siinä tulisi olla tarkkaan määritettynä käytetyt mittalaitteistot, mittasyvyudet sekä liitteeksi mukaan tiedot mittaussuhteista.

Mittausraportin sisältö;

- *mittauskohdetiedot (osoite, yhteyshenkilö yhteystietoineen)*
- *mittaajan yhteystiedot*
- *mittauksen tarkoitus*
- *kohteen kuvaus (huoneisto/tila, rakenneratkaisu, betonilaatu, valupäivä jne.)*
- *piirros tai valokuvia mittauskohdasta (mittauspisteiden sijainti pohjakuviin)*

- *käytetyt mittalaitteet (mittalaitetyyppi, mittapään numero, kalibrointiajankoh-
ta)*
- *mittausmenetelmän kuvaus*
 - *porareikämittauksista kuvataan tarkoin reikien puhdistus, putki-
tus ja tiivistystoimenpiteet*
 - *näytepalamittauksista esitetään näytteenottoajankohta, luke-
mienottoajankohta ja olosuhteet lukemienottohetkellä*
- *sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mittauskohdassa ja tarvittaessa
ulkoilman olosuhteet*
- *mittaussyvyyydet*
- *mittaustulokset (suhteellinen kosteus ja lämpötila ja tarvittaessa niiden pe-
rusteella laskettava vesihöyrysisältö). Näytepalamittauksen vesihöyrysisältöä
ei tarvitse laskea, koska kaikki kosteusarvot luetaan samassa lämpötilassa.*
- *mittaustarkkuustarkastelu (mittaukseen liittyvät virhe-/epävarmuustekijät)*
- *tulosten tulkinta*
- *johtopäätökset*

(Huovanainen 2010, 23.)

Betonilattioissa aiheutuneet työvirheet tulevat esille yleensä vasta takuuajan umpeuduttua. Riitatilanteissa tulee voida esittää työsuoritukseen liittyvien do-
kumenttien ohella oikein täytetty mittauspöytäkirja. Mikäli mittauspöytäkirja on
täytetty väärin tai puutteellisesti, voidaan työnsuorittajaa syyttää työn törkeäs-
tä laiminlyömisestä. Tästä syystä pöytäkirja tulisi täyttää oikein ja tarkasti, jotta
työvaihe olisi suoritettu hyväksytysti. Dokumentoinnin suorittajan tulisi olla tie-
toinen kaikista mittaukseen liittyvistä tekijöistä, jotta sen tekeminen oikein olisi
mahdollista. Mittauspöytäkirjan kopiointi on epäammattimaista ja aiheuttaa
negatiivista mainetta niin yritykselle kuin työn suorittajallekin. Jokainen työ-
kohde on erilainen, eikä kohteiden tietoja voida verrata keskenään.

8 Työn suoritus

8.1 Yleistä

Työ suoritettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratoriossa. Betonivalu tehtiin 200mm korkeaan muovilaatikkoon, jolloin se jäljitteli 200mm yhteen suuntaan kuivuvaa lattiavalua (ks. kuvio 9). Tarkoituksena oli kuivattaa betoni sopivaan kosteuteen pinnoitusta ajatellen samalla tarkkailen mittalaitteiston käyttäytymistä kokeen aikana.

8.2 Testibetonin suhteutus

Testibetoni valmistettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa *betonin koostumus*-taulukkoa noudattaen. Testibetonin koostumus jäljittelee lattiabetonin koostumusta.

Testibetonin tiedot:

- betonin lujuusluokka ja nimellislujuus: K30-2
- tavoitelujuus: 36
- suhteutuslujuus: 36
- sementti: CEM II A 42,5
- tavoitenotkeus: 150
- vesi-sementtisuhte (v/s): 0.66
- suurin raekoko #: 15
- rakeisuusluku H: 481
- ilmamäärä dm^3/m^3 : 20

Liitteessä 3 on esitelty kiviaineksien yhdistäminen *betonin koostumus*-taulukossa.

Betonia valmistimme testiastiaan sopivan määrän, 48,5kg. Testilaatikon tilavuus 2m³.

AINEOSAT	MÄÄRÄ
	kg
sementti	6,5
filleri	3,0
sora	20,0
murske	15,0
vesi	4,0
yhteensä	48,5

Valun valmistaminen ja laitteiston testaus valussa toteutettiin sisätiloissa rakennuslaboratoriolla. Olosuhteet kokeen aikana olivat tasaiset. Lämpötila pysytteli +20-asteessa ja ilman suhteellinen kosteus vaihteli 10-20%:n välillä. Olosuhteet olivat huomattavan kuivat testauksen aikana. Testibetoni siirrettiin kerran laboratoriotilan toiselle puolelle, sillä ei ollut vaikutusta olosuhteisiin.



Kuvio 8. Testivalun paksuus 200mm, mittausyvyys 80mm

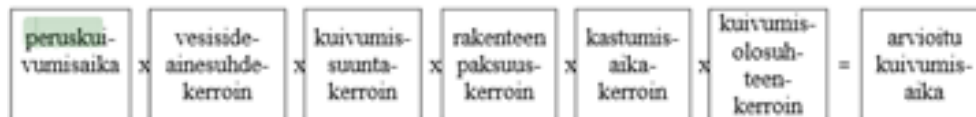
8.3 Betonin kuivumisajan arviointi laskennallisesti

Merikallion (2002, 38) mukaan kuivumisaika-arviot laskennallisesti ovat suuntaa-antavia ja tarkoitettu käytettäväksi rakennusaikataulujen ja kuivatuksen

suunnitteluun. Todellinen varmuus rakenteen kosteustilasta saadaan vain mittaamalla betonin kosteus.

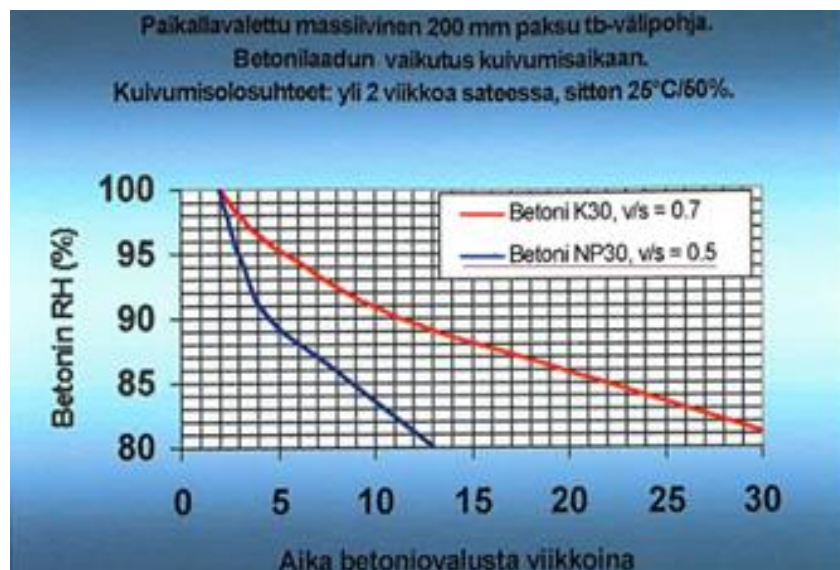
Betonin kuivumista voidaan arvioida laskennallisesti käyttäen apuna tietyille rakenteelle listattuja kertoimia, tavoitekosteutta ja peruskuivumiskäyrää.

Tarja Merikallion julkaisussa (2002) Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi, laskenta noudattaa kuviossa 9 esitettyä kaavaa.



Kuvio 9. Betonin kuivumisajan arviointi laskennallisesti (Merikallio 2002, 38).

Peruskuivumisaika katsotaan peruskuivumiskäyrältä (ks. kuvio 11). Peruskuivumiskäyriä on esitelty liitteessä 6. Taulukon 2 mukaan annetaan korjauskertoimet peruskuivumisajalle. Tuloksena tulee arvioitu kuivumisaika rakenteelle.



Kuvio 10. Peruskuivumiskäyrä (Merikallio 2002, 38)

Vesisideainesuhde (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

Rakenteen paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
200	0,7	0,7	0,7	0,8
230	0,9	0,9	0,9	0,9
250	1,0	1,0	1,0	1,0
280	1,3	1,1	1,1	1,1
300	1,6	1,4	1,3	1,2

Kuivumis-suunta	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
Kahteen suuntaan	1,0	1,0	1,0	1,0
Yhteen suuntaan	3,2	2,6	2,3	2,0

Olosuhteet				
RH (%)	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Kastuminen	Vesisideainesuhde			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	1,0	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,1	1,2	1,3	1,5

Taulukko 2. Kuivumisajan kertoimet (Merikallio 2002, 38).

Testibetonin kuivumiseen 85%:n suhteelliseen kosteuteen kestäisi laskennallisesti:

$$22 \text{ (vko)} \times 1,0 \text{ (v/s)} \times 0,7 \text{ (d)} \times 3,2 \text{ (yhteen suuntaan kuivuva)} \times 0,75 \text{ (RH\%)} \times 0,8 \text{ (kuivassa)} = \mathbf{26 \text{ vko}}$$

Testibetonin suhteellinen kosteus Vaisalan mittauksilla toteutettuna oli 9 viikon kuivumisajan jälkeen jo 75,5%. Reaaliaikaisen mittalaitteiston suhteellinen

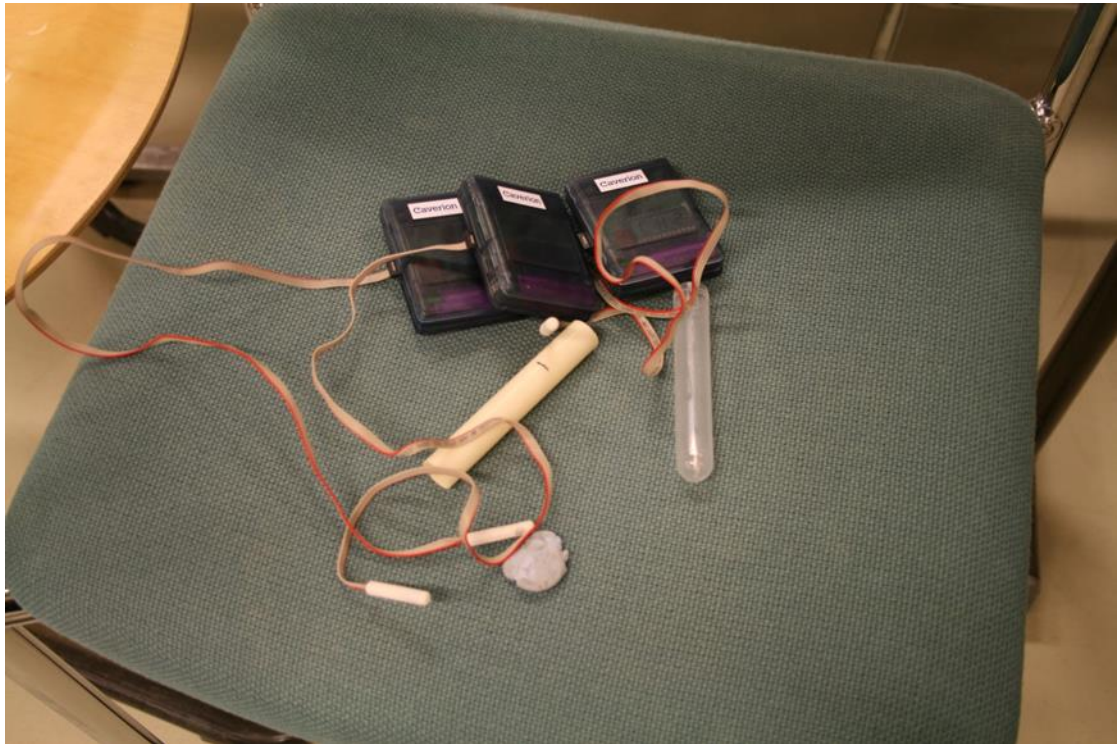
kosteus 9 viikon kohdalla oli 84,5%. Laskennallisesti päätellen reaaliaikaisella mittalaitteistolla päästään lähemmäksi oikeaa tulosta.

Tuloksia tulkitessa tulee kuitenkin huomioida valun pieni koko, joka osaltaan lyhentää valun kuivumisaikaa. Lisäksi kuivat olosuhteet tehostavat näytebetonin kuivumista.

Yhteen suuntaan kuivuvan betonin kuivumisaika on testibetonilla 3,2 kertaa pidempi, kun kahteen suuntaan kuivuvalla betonilla. Epävarmuuden laskentaan tuo testibetonin pieni koko ja kyseenalaista onkin, voiko näytteen kuivumista verrata suuren yhteen suuntaan kuivuvan lattiavalun kuivumiseen.

8.4 Mittausvaihe

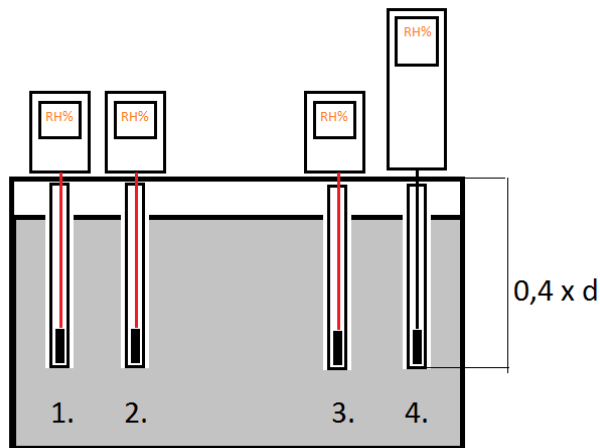
Mittalaitteena käytettiin paristoilla toimivia langattomia mitta-antureita, jotka lähettävät reaaliaikaisia mittatietoja mittasalkulle GPRS-yhteyden välityksellä. Tulokset välittyvät ja tallentuvat näin ollen suoraan palvelimelle, josta tuloksia on mahdollista kätevästi lukea ja analysoida valvomo-ohjelman kautta reaaliaikaisesti. Betoniin asennettiin mittasalkun mittalähettämiin sopivat anturit (ks. kuvio 13). Koska valmistajalla ei ole kunnon ohjeita antureiden asennuksesta, jouduimme soveltamaan antureiden asennuksessa RT 14-10984 ohjetta. RT-14-10984 ohjeen mukaan suoraan valuun asennettavat mittaukset ovat suuntaa antavia mittauksia.



Kuvio 11. Mittalaitteistoa (mitta-antureita, mittalähettämiä, suojaputkia)

Valmistajan ohjeena oli, että anturin porareian pää tulisi tiivistää sinitarralla ja mittalaitteen tulisi olla pystyasennossa. Mittasyvyudeksi valitsimme $0,4 \times d$. Testialun paksuus oli 200mm, jolloin mittaussyvyudeksi tuli 80mm. Yhden antureista (ks. kuva 3) asensimme suoraan betoniin, vaikkakin ohjeistuksessa neuvotaan, ettei antureita saa asentaa veteen. Laitteen markkinoija myy laitetta niin, että se on asennettavissa suoraan valuun.

Yksi antureista asennettiin avoimeen putkeen ja yksi asennettiin umpinaiseen putkeen (ks. kuvio 14). Mittapäiden yläpäät tiivistettiin sinitarralla sekä ilmastointiteipillä. Mittareikien ei annettu ns. tasaantua ennen antureiden asentamista, jotta ne voisiin upottaa suoraan valuun. Valmistajalla ei ole suoraan mittaukseen sopivia suojaputkia, joten käytimme mittauksiin laboratoriollla käytössä olevaa välineistöä apuna.



Kuvio 12. Mittauksen suoritus

Avoin putki oli mitta-anturille hieman väljä, joten ennustettavissa oli, että putkeen nouseva sementtiliima saattaisi vahingoittaa anturia tai/ ja antaa virheellisiä mittatietoja. Tutkimusta olisi helpottanut, mikäli valmistajalla olisi olemassa antureihin sopivia suojaputkia ja mittauksen suorittamiseen tarvittavat pätevät ohjeet.

Umpinaisessa mittaputkessa olevalla anturilla emme todennäköisesti olisi saaneet mitattua kuin betonin lämpötilaa, joten päädyimme siirtämään anturin myöhemmin poraamaamme reikään, joka mahdollisti ns. oikeaoppisen mittatavan vertaamisen suoraan märkään betoniin laitettaviin koemittauksiin.

Ennustettavissa oli, että mittapäät reagoivat veteen ei-toivotulla tavalla, mutta tutkimukseen kuuluikin seurata sitä, kuinka mittalaitteisto alkaa toimia betonin/ mittapäiden kuivuttua. Vaikka mittalaitteisto alkoikin toimia mittajakson edessä, ei tällä yksittäisellä mittakokeilulla voida taata mittalaitteen toimivuutta märkään betoniin valettaessa, vaan uusintoja tulisi ottaa useita.

Etuna mittausten suorittamiseen olivat tasaiset olosuhteet. Työmaaolosuhteet saattavat vaihdella suurestikin betonivalun kuivumisen aikana ja tulisi selvittää, kuinka laitteisto reagoi vaihtuviin olosuhteisiin.

Verrokkimittauksia aloimme tehdä, kun arvioimme betonin olevan päällystettävissä (ks. kuvio 16). Verrokkimittauksia otimme 2 viikon ajan. Verrokkimittaukset suoritimme Vaisala-mittalaitteistolla (ks. liite 4), joka oli kalibroitu asianmukaisesti ennen mittauksen suoritusta. Ensimmäisen Vaisala-mittauksen jälkeen päätimme vielä tiivistää mittakohtaa sinitarralla seurataksemme, nouseeko suhteellinen kosteus (RH %) lisätiivistyksen myötä. Työmaaolosuhteissa ei tiivistystä yleensä tehdä.



Kuvio 13. Verrokkimittausten lukuhetki

8.5 Mittaustulokset

Taulukoissa (ks. kuvio 18 ja 19) on esitelty mittausten suhteelliset kosteudet sekä lämpötilat koeajalta (2vko). Reaaliaikaisen mittalaitteiston tuloksia verrattiin Vaisalan mittalaitteiston tuloksiin (ks. kuvio 16).



Kuvio 14. Mittalaitteiston tasaantumisen tarkkailu koeajan päätyttyä

8.6 Tulkinta ja vertailu

Mittausolosuhteet olivat tasaiset. Huoneilma pysyi 10-20% suhteellisessa kosteudessa. Lämpötila pysyi tasaisesti 20°C:n tietämillä.

Vaisalan mittalaitteiston mittaustuloksia voidaan pitää luotettavina vertailun suhteen. Verrattaessa reaaliaikaisen mittalaitteiston tuloksia Vaisalan mittauksiin, lähinnä oikeita tuloksia päästiin avoimeen putkeen asennetulla mittapäällä. Verrokkimittauksissa heittoa Vaisalan tuloksiin avoimeen putkeen asennetulla mittapäällä oli 8,8...5,8%. Pinnan päällystettävyyden kannalta tulosten heitto on merkittävä.

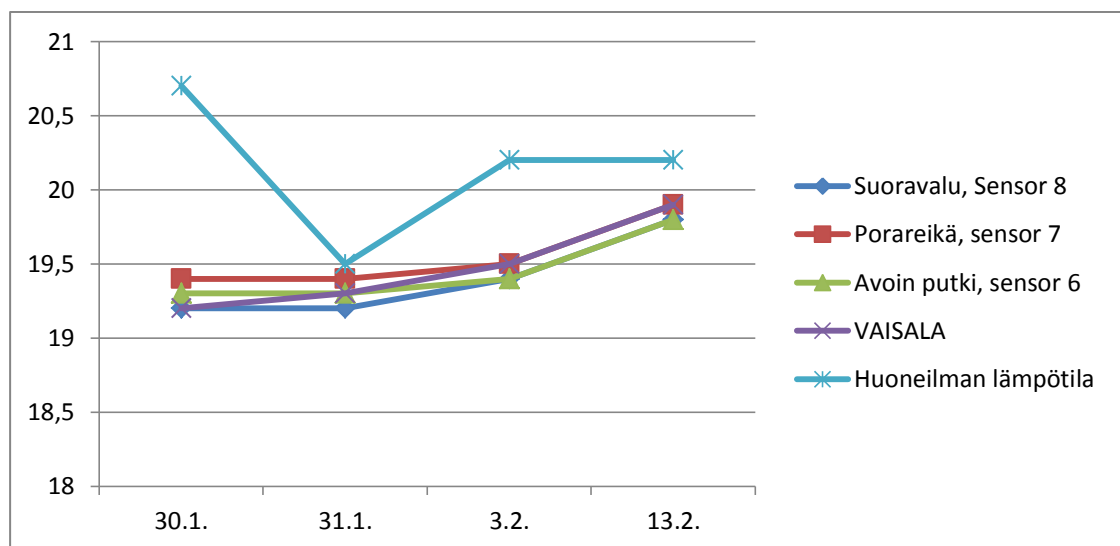
Hyvä puoli reaaliaikaisen mittalaitteiston tuloksilla oli, että ne olivat ns. varmalta puolella, jolloin pinnoitusta ei lukemien perusteella toteutettaisi ainakaan liian märkänä. Turhia kustannuksia taas aiheutuisi ylikuivattamisesta, jolloin aikataulut venyvät turhaan.

Porareikään RT-kortin ohjeen mukaan asennetun mittalähettimen tulokset poikkesivat myös hurjasti Vaisalan mittaustuloksista. Tämä anturi ei ole ollut

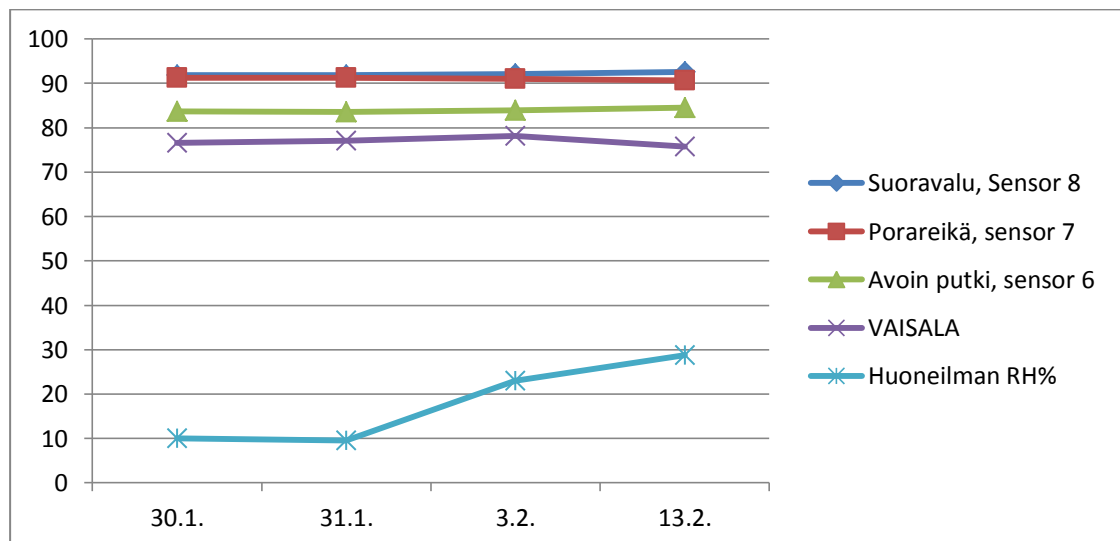
kosketuksissa veden kanssa, jolloin anturi olisi voinut vaurioitua. Syitä tuloksen heittoon voivat olla mittalaitteiston kalibroinnin tarve tai mitta-anturissa ollut vika.

Reaaliaikaisen mittalaitteiston valmistaja antaa virhemarginaaliksi lukemiin $\pm 5\%$, kun ohjearvona suhteellisen kosteuden mittauksiin annetaan $\pm 3\%$. Jo tästä voidaan päätellä, että mittalaitteisto soveltuisi ainoastaan suunta-antaviin mittauksiin.

Betonin lämpötilaa mitattaessa mittaustulokset olivat paremmat ja niitä voitiin pitää luotettavina. Heittoa oli $\pm 0,5^\circ\text{C}$.



Kuvio 15. Verrokkimittausten lämpötiläkäyrät ($^\circ\text{C}$)



Kuvio 16. Verrokkimittausten suhteellisen kosteuden (RH%) käyrät

Verrattaessa reaaliaikaisen mittalaitteiston käyttäytymistä mittajakson aikana, huomattiin, että reagoidessaan kosteudelle, mittalähettimet nollaantuivat. Lähettimet alkoivat lähettää mittatuloksia 1-2-viikon kuluttua mittauksen alkamisesta. Käyrät on esitelty liitteessä 1. Anturit siis reagoivat kosteudelle voimakkaasti ja tässä vaiheessa on voinut aiheutua vika antureihin.

Suoraan valuun asennetun anturin mittatulokset kohosivat tasaisesti koko mittajakson ajan. Tämä tarkoittaisi, ettei kuivumista betonissa olisi tapahtunut vaan ainoastaan kostumista. Käytännössä kostumista ei ole voinut mittausolosuhteissa tapahtua. Tämä viittaisi myös vikaan anturissa.

9 Yhteenveto

Mittasalkun soveltuvuus suhteellisen kosteuden mittaamiseen työmaaolosuhteissa määstä betonista oli kyseenalainen. Valmistajan ohjeistus työn suorittamiseen oli puutteellinen ja mittauksen soveltava toteutus aiheutti mittauksiin suurta epävarmuutta. Eri mittalaitteilla on erilaiset ohjeet työn suoritukseen ja niiden soveltaminen keskenään on epävarmaa.

Valmistajan olisikin hyvä tehdä mittauksista pätevä työtapaseloste, jossa kävisi ilmi mittauksen oikea toteutustapa. Mittalaitteen mainonnassa ja työohjeessa oli suuria ristiriitaisuuksia, kuten mittausten suorittaminen voidaan toteuttaa määstä valusta, mutta anturia ei saa laittaa veteen. Lisäksi valmistajan olisi hyvä tarkentaa mittauksiin soveltuvaa laitteistoa, jotta työn voisi suorittaa luotettavasti.

Kosteusmittauksiin sisältyy runsaasti epävarmuustekijöitä. Mielestäni suurin ongelma mittauksissa on kosteusmittaajan osaamattomuus tai välinpitämättömyys mittauksia kohtaan. Työn teko ammattitaidolla ja ylpeydellä vaatii kiinnostusta työtään kohtaan. Kun ymmärtää työnsä tärkeyden rakenteen toimivuuden kannalta, tulisi se tehtyä hyvin ja kunnialla. Työvirheiden merkitys rakennusvaurioissa on suuri ja tiedon jakaminen oikeista työmenetelmistä olisi

erittäin tärkeää. Kun vastuu työsuorituksista ei koske työsuorittajaa, ei sen kunnialla tekemisellä ole merkitystä. Lisäksi kiire työmaalla ajaa riskiratkaisuihin, jotka kostahtavat myöhemmin rakennusvirheinä. Aikatauluissa pysyminen ajaa ohi oikeiden työtapojen jo kustannuksellisistakin syistä. Sinne päin tehty työ ei kuitenkaan riitä, kun tulisi tehdä oikein.

Vaikka jokaiseen työvaiheeseen ei aikataulujen vauhdikkuuden vuoksi voidaakaan paneutua tarkasti, on homevaurioiden runsaus myös uusissa rakennuksissa huolestuttavaa. Tiukentuneet määräykset rakenteiden tiiviiden sekä paksuuden suhteen korostavat rakennusvirheitä entisestään. Rakennusten kosteudenhallinnan tärkeys kasvaa, kun nykymääräykset ohjaavat rakentamaan tiiviitä rakennuksia.

Vaikka betonin käyttäytymistä onkin tutkittu laajalti, on kosteusmittauksiin liittyvä kirjallisuus niukkaa. Vaikka teoksia betonin lujuuslaskelmista sekä homeen muodostumisesta tietyissä olosuhteissa on runsaasti, jää huomioimatta työvaiheessa muodostuvan kosteuden merkitys rakenteen terveyden kannalta.

Kosteusvauriot ja nykyrakentaminen jakaa paljon mielipiteitä myös korkeasti rakennusosalalle kouluttautuneissa ihmisissä. Opinnäytteen myötä itseäni jääkin mietityttämään, kuinka paljon nykymääräyksissä ja ohjeissa on tietoa ja osaamista, ja kuinka paljon mielipiteisiin pohjautuvaa perimätietoa.

LÄHTEET

Absoluuttinen kosteus. Wikipedia. Viitattu 1.3.2014.

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Kosteus>

Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Haistahome. 2010. Betonin kapillaarisuus, hydrofiilisyyys ja hydrofobisuus. Viitattu 10.1.2014. <http://www.haistahome.fi>

Haistahome. 2010. Kosteus materiaalin huokosissa. Viitattu 10.1.2014. <http://www.haistahome.fi>

Huovanainen, H. 2012. Kahden eri suhteellisen kosteuden mittauslaitteiston tutkiminen betonin kosteusmittausten yhteydessä. Opinnäytetyö. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma.

Ilman kosteus. Ilmatieteen laitoksen verkkosivut. Viitattu 10.1.2014. <http://ilmatieteenlaitos.fi>

Kapillaarikatko. Rintamamiestalo verkkosivut. Viitattu 1.4.2014. <http://www.rintamamiestalo.fi>

Kosteus, määräykset ja ohjeet. 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C2. Ympäristöministeriö.

Lappalainen, M. 2010. Energia- ja ekologiakäsikirja, suunnittelu ja rakentaminen. Tampere. Tammerprint Oy.

Merikallio, T. 2009. Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa. Väitöskirja. TKK Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos, Espoo.

Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Suomen Betonitieto Oy, Betonikeskus ry.

Niemi, S. 2006. Betonirakenteiden päällystettävyyden arviointi kuntoon. Artikkel. Viitattu 18.1.2014. www.betoni.com

Parnanen, A. 2011. Betonin suhteellisen kosteuden seuranta ja pinnoituskelpoisuuden toteaminen uudisrakentamisessa. Opinnäytetyö. Savonia ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma.

RT 05-10710. 1999. Kosteus rakennuksissa. Ohjekortisto.

RT 14-10675. 1998. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. Ohjekortisto.

SisäRYL 2000. 1998. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennuksen sisätyöt. Ohjekortisto.

Tietoa Caverionista. 2013. Caverion Oyj:n verkkosivut. Viitattu 10.2.2014.
<http://www.caverion.fi>

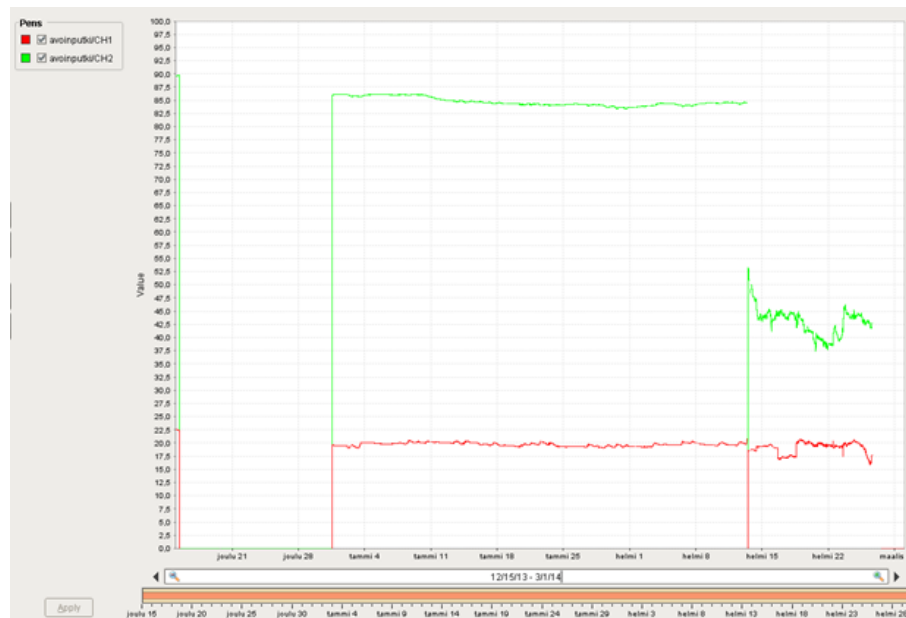
Työmaan kosteudenhallinta. Sisäilmayhdistyksen verkkosivut. Viitattu
8.3.2014. <http://www.sisailmayhdistys.fi>

LIITTEET

Liite 1. Reaaliaikaisen mittalaitteiston tulokset



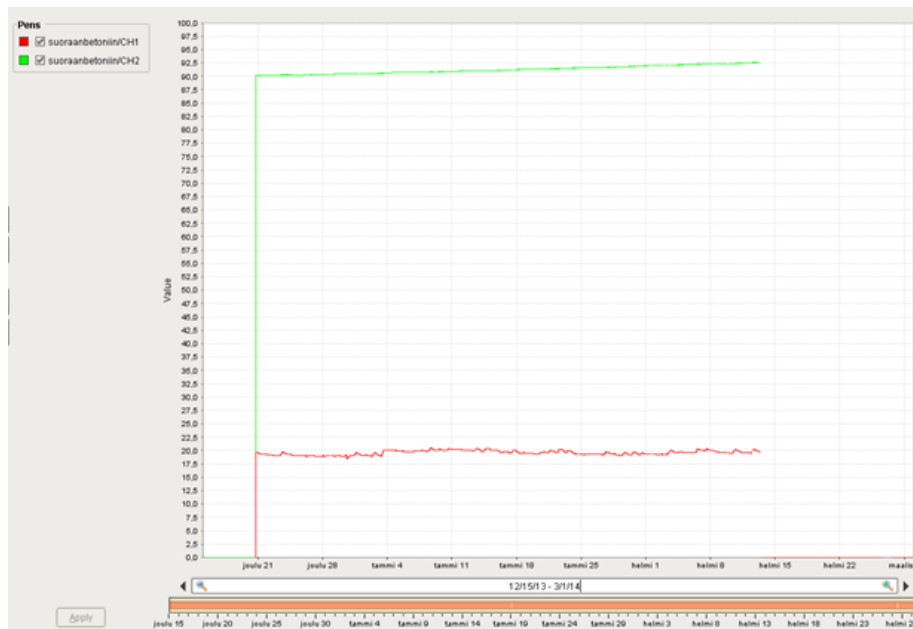
(Huoneilma, Jamk)



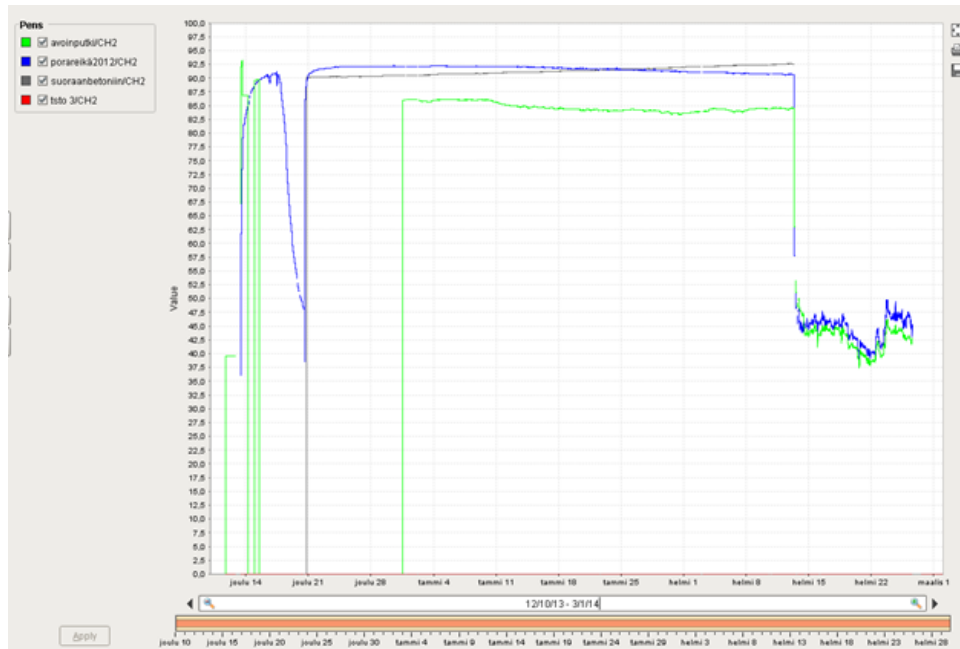
(Avoin putki, märkä valu)



(porareikämittaus)



(suoraan märkään valuun)



(kaikki tulokset yhdessä)

Liite 2. Verrokkimittausten tulokset

Olosuhteet (Vaisala)	Sarake1	Sarake2
pvä	RH%	*c
30.1.	10	20,7
31.1.	9,5	19,5
3.2.	23	20,2
13.2.	28,8	20,2

avoin putki, sensor 6	Sarake1	Sarake2
pvä	RH%	*c
30.1.	83,7	19,3
31.1.	83,6	19,3
3.2.	83,9	19,4
13.2.	84,5	19,8

porareikä, sensor 7	Sarake1	Sarake2
pvä	RH%	*c
30.1.	91,2	19,4
31.1.	91,2	19,4
3.2.	91	19,5
13.2.	90,6	19,9

suoravalu, sensor 8	Sarake1	Sarake2
pvä	RH%	*c
30.1.	91,8	19,2
31.1.	91,8	19,2
3.2.	92,1	19,4
13.2.	92,5	19,8

Liite 3. Betonin suhteistus

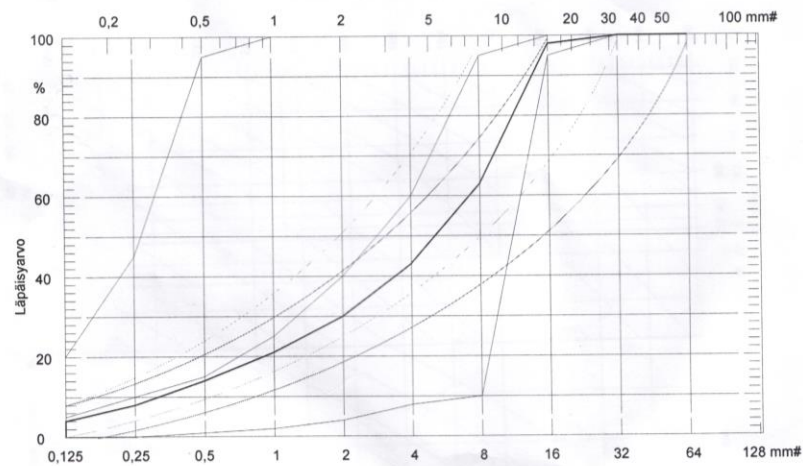
BETONIN KOOSTUMUS

N:o

Rakenneosat	Opiskelija	Rakennustyö	Talutti 4.12.13
Betonin luokka ja nimellislujus	Lattia	Sementti CEM II A 42,5	Suurin raekoko # 15
	K30-2	Tavoitenotkeus 150	Sepeli %
Tavoitelujus MN/m2	36	(Vesi+ilma)-sementtisuhde 0.66	Rakeisuusluku H 481
Suhteituslujus MN/m2	36		Ilmamäärä dm3/m3 20
			Annustus % sem. painosta

Kivialineukset		Humus	Liete	Rakeisuus										H
Tunnus				0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	64	
a	FILLERIT		0.0	20.0	45.0	95.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	860	
b	Sorat	0	0.0	5.0	10.0	15.0	25.0	40.0	60.0	95.0	100.0	100.0	550	
c	Murskeet	0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	4.0	8.0	10.0	95.0	100.0	320	
d														
e														
Kivialineuksien yhdistäminen	a	6	%	1.2	2.7	5.7	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	52	
	b	56	%	2.8	5.6	8.4	14.0	22.4	33.6	53.2	56.0	56.0	308	
	c	38	%	0.0	0.0	0.4	0.8	1.5	3.0	3.8	36.1	38.0	122	
	d		%											
	e		%											
Yhdistetty kivaines				4.0	8.3	14.5	20.8	29.9	42.6	63.0	98.1	100.0	481	

Aineosat	Suhteitusseos				Kivialineksen vesipitoisuus				Työseos	ANNOS
	kg/m3 (dm3/m3)	%	dm3/m3	Kiintotiheys Mg/m3	kg/m3	kokonais %	absorboitunut %	vapaa %		
Sementti	323		104	3.10	323.4				323.4	323.4
Kivaines	(104) a	6	40	2.67	109.4	0.0	0.0	0.0	109.4	109.4
	b	56	382	2.67	1021.0	0.0	0.0	0.0	1021.0	1021.0
	1830 c	38	259	2.67	692.8	0.0	0.0	0.0	692.8	692.8
	(682) d									
	e									
Vesi	193		193	1.000	193.0				193.0	193.0
Ilma	(20)		20							
Yhteensä	2346		1000		2339.6				2339.6	2339.6



Tark.

Laat. 11.12.13

Nimikirjoitus

Nimikirjoitus

Yhden käyttäjän lisenssi

Liite 4. Vaisala-mittalaitteiston ohjekortti

TEKNISET TIEDOT

HMP44-MITTAPÄÄ

SUHTEELLINEN KOSTEUS

Mittausalue	0...100 %RH
Tarkkuus	
0...90 %RH	±2 %RH
90...100 %RH	±3 %RH
Tyypillinen pitkäajan stabiilius ilmassa	< 1 %RH/vuosi
Vasteaika (90%) +20 °C:ssa	15 s
liikkumattomassa ilmassa	
Kosteusanturi	HUMICAP® 180

LÄMPÖTILA

Mittausalue	-20...+60 °C
Tarkkuus +20 °C:ssa	±0.4 °C
Lämpötila-anturi	Pt 1000 IEC 751 1/3 Class B

YLEISTÄ

Elektroniikan käyttölämpötila-alue	-40...+60 °C
Mittapään halkaisija	12 mm
Mittapään pituus	69 mm
Kaapelin pituus	300 mm
Anturin suojaus	kalvosuodin 17039HM
Porareian halkaisija	16 mm
Mittaussyvyys	min. 30 mm max. 90 mm

HMI41-NÄYTTÖLAITE

Näyttölaitteen aiheuttama enimmäisvirhe +20 °C:ssa	
kosteus	±0.1 %RH
lämpötila	±0.1 °C
Mittaustulosten tallentaminen	
Laskennalliset suureet	kastepistelämpötila, absoluuttinen kosteus, märkälämpötila, sekoitussuhde
Erottelukyky	0.1 %RH; 0.1 °C
Tehonlähde	4 paristoa, tyyppi IEC LR 6
Paristojen käyttöaika (alkaliparistoille)	72 h jatkuvassa käytössä
Käyttölämpötila-alue	-20...+60 °C
Käyttökosteusalue	0...100 %RH kasteeton
Varastointilämpötila-alue	-40...+70 °C
Näyttö	kahden rivin nestekidenäyttö
Kotelon materiaali	ABS muovi
Kotelon luokitus	IP 53 (liittimet suojattuina)
Paino (sis. paristot)	300 g

Muita HMI41-näyttölaitteen kanssa rakenneteksteuden mittaamiseen käytettäviä mittapäitä:

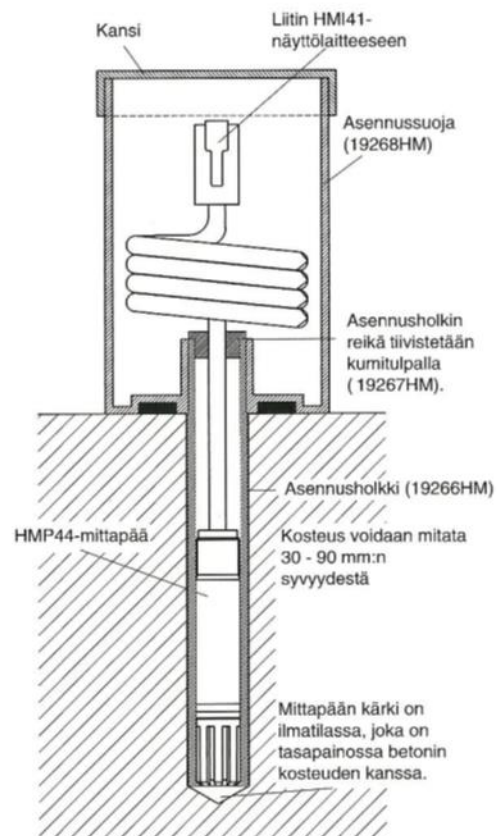
HMP42	235 mm mittapää, halkaisija 4 mm
HMP44L	kuin HMP44, mutta 2700 mm kaapelilla
HMP46	320 mm mittapää, halkaisija 12 mm

Täyttää EMC-standardit EN50081-1 ja EN50082-2.

HUMICAP® on Vaisalan rekisteröimä tuotemerkki. Oikeus muutoksiin ilman erillistä ilmoitusta pidätetään.
© Vaisala Oy



Asennusesimerkki



Vaisala Oy
PL 26
00421 Helsinki

Puhelin (+358-9) 894 91
Fax (+358-9) 894 9485

myynti@vaisala.com
www.vaisala.com

Liite 5. Kosteusantureiden tekniset tiedot (testilaitteisto)

Yleiset

✓ Aseteltava mittaus-/lähetysaika	Off, 60...65 000 s
✓ Lähettimen RF-taajuusalue	433 MHz
✓ Pariston kesto 10 min mittausvälillä	10 vuotta
✓ Pariston tyyppi	AA 3,6V 2,4Ah
✓ Paino pariston kanssa	60 g
✓ Mitat	56 x 18 x 71 mm
✓ Datan tallennus anturin muistiin, 10 min mittaus	8 viikkoa
✓ Kotelomateriaali	Muovi ABS
✓ Kotelointiluokka	IP20

Tyypikohtaiset: ExtHum - rakennekosteusanturi

✓ Ulkoinen anturielementti, mitat	5,5 x 35 mm	
✓ Ulkoisen anturielementin liitäntä- johdon pituus	0,4 m	
✓ Mittausalue, suhteellinen kosteus	0...100 %RH	20...80 %RH
✓ Mittaustarkkuus, suhteellinen kosteus	± 5 %	± 3 %
✓ Lämpötila-alue, ulkoinen anturielementti	- 30...+90 °C	
✓ Lämpötila-alue, anturimoduuli	0...+60 °C	
✓ Mittaustarkkuus, lämpötila	± 2,0 °C	

Liite 5. Ohje porareikämittaukseen

Suhteellisen kosteuden (rh) mittaus massiivisesta rakenteesta

Suhteellista kosteutta ei voida mitata samasta porareiästä useampaan kertaan, koska rakenteen kosteusjakauma muuttuu pitkällä aikavälillä porareiän kautta vaikka reikä olisi tulpattunakin. Mittareikä on putkitettava, jotta mittauslukema saadaan halutulta syvyydeltä. On suositeltavaa tehdä mittaus n. 16 mm porareiästä, koska ohuempien reikien putkittaminen ja luotettava tiivistäminen putken kärkeästä on vaikeaa. Päälystettävyyssmittauksissa betonin ja sisäilman lämpötilan tulisi pysyä mittauksen ajan tasaisena. Jos lämpötila on alle +15°C tai yli +25°C, porareikämittauksella ei saada vertailukelpoista tulosta.

Massiivisesta rakenteesta kosteuden mittaamiseen soveltuu esim.. Vaisala Oy:n valmistama Æ 12 mm HMP44 kosteus- ja lämpötilamittapää.

Tulosten tulkinnessa on tiedettävä mitä materiaalia on mitattu, miltä syvyydeltä on mitattu ja mikä materiaalin kokonaispaksuus on ollut. Tarvittaessa materiaalin paksuus ja rakenne varmistetaan läpiporauksella.

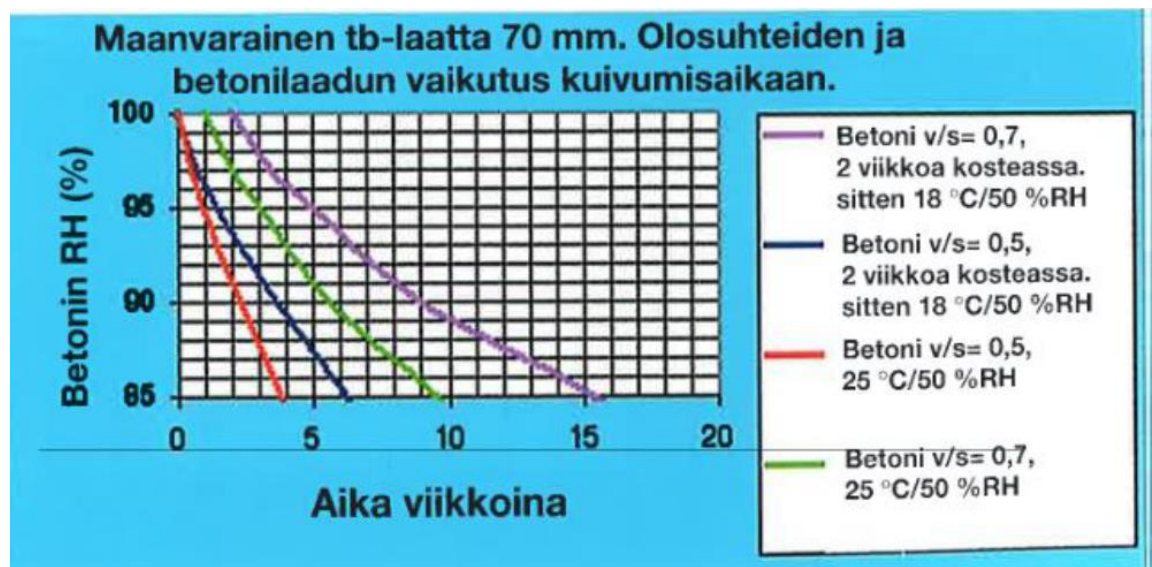
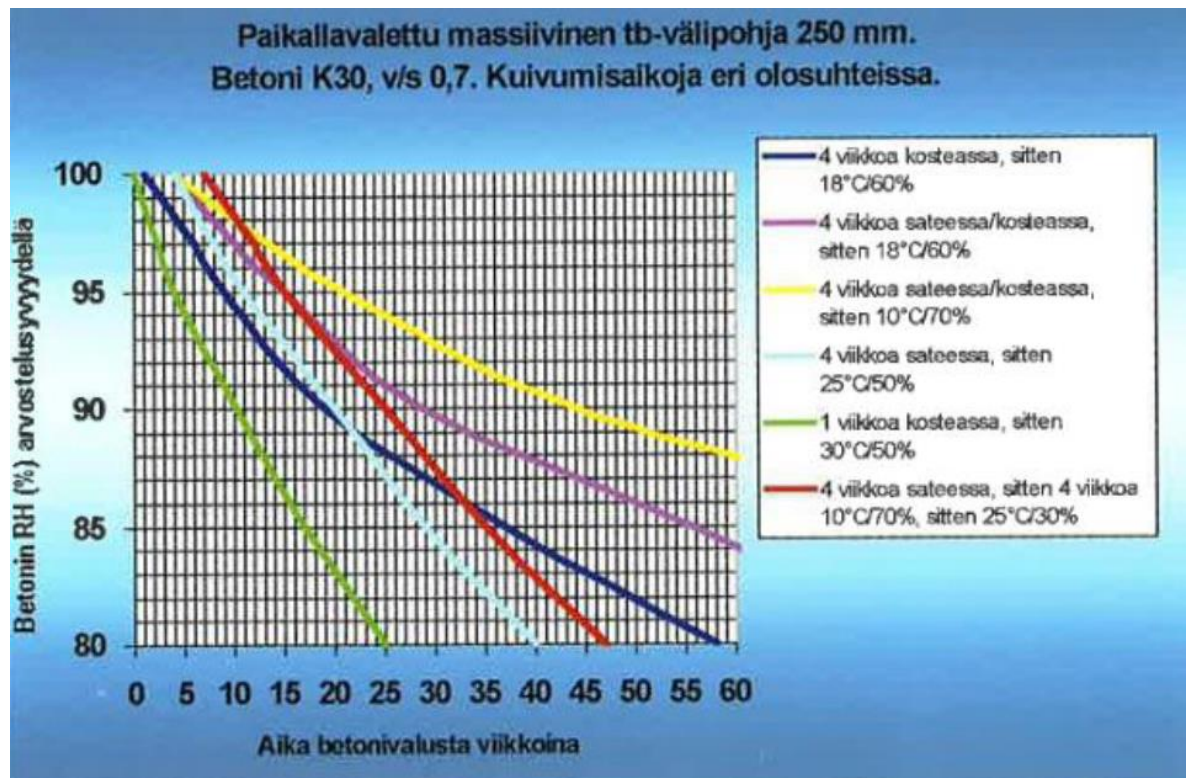
Porareikämittauksen vaiheet

Suhteellisen kosteuden mittauksessa massiivisesta esim. betoni tai tiilirakenteesta, tulee menetellä seuraavasti:

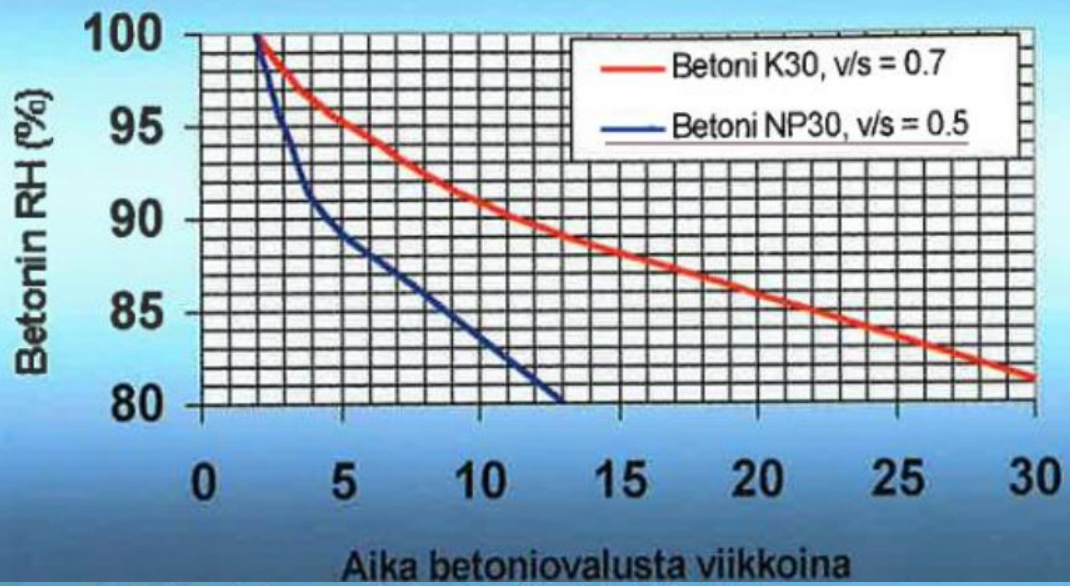
- Rakenteeseen porataan iskuporakoneella reikä mittaus­syvyydelle. Reiän vähimmäishalkaisija on 16 mm.
- Reikä puhdistetaan poraus­pölystä imuroimalla käyttäen suutinta, joka mahtuu reikään.
- Reikään asennetaan sivuiltaan tiivis mittausputki, joka ulottuu reiän pohjaan saakka.
- Mittausputken ja materiaalin rajapinta tiivistetään ilmatiiviiksi.
- Mittausputki imuroidaan puhtaaksi.
- Mittausputken pää tiivistetään ilmatiiviiksi
- Tarvittaessa mittausputki suojataan ke­stämään ympäristön rasitukset
- Reiän annetaan tasaantua tiivistettynä riittävän kauan, katso kuva 1, päälystettävyyssmittauksissa noin 3 vuorokautta.
- Lämpötila- kosteusmittapää asennetaan mittausputkeen siten, että putken pään tiivistys avataan mittapään putkeen laittamisen ajaksi. Tämän jälkeen putken pää tiivistetään kitillä mittapään johtoon.
- Mittapään annetaan tasaantua mittausputkessa vähintään 1 tunti ennen lukemien ottamista. Vaihtoehtoisesti mittapää asennetaan mittausputkeen jo porauksen yhteydessä, jolloin on odotettava riittävän kauan jotta porauksen aiheuttama häiriö ei vaikuta mittaukseen.

(Sisäilmayhdistys Ry)

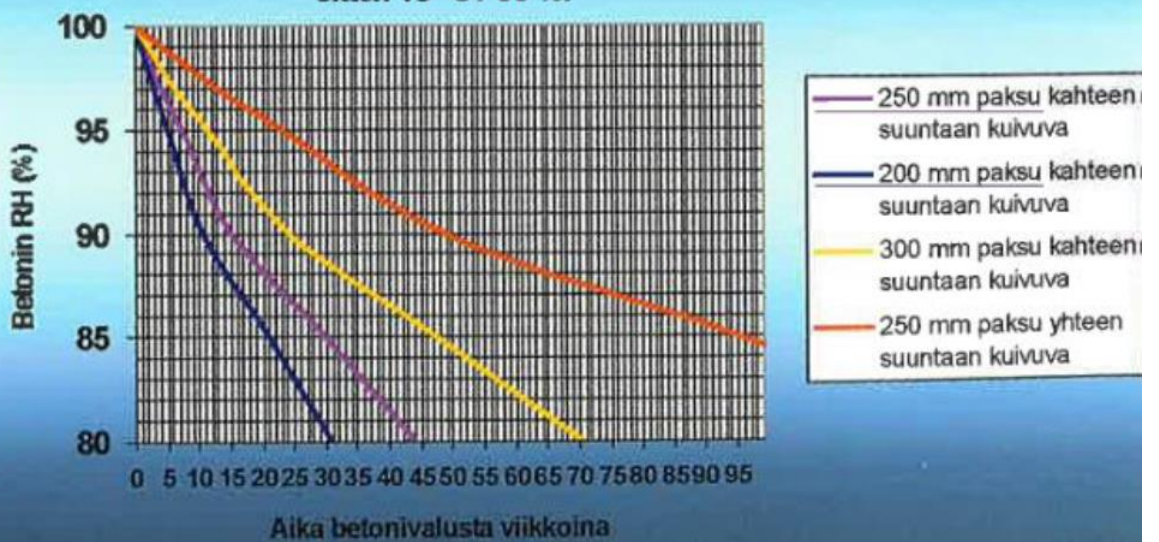
Liite 6. Peruskuivumiskäyriä



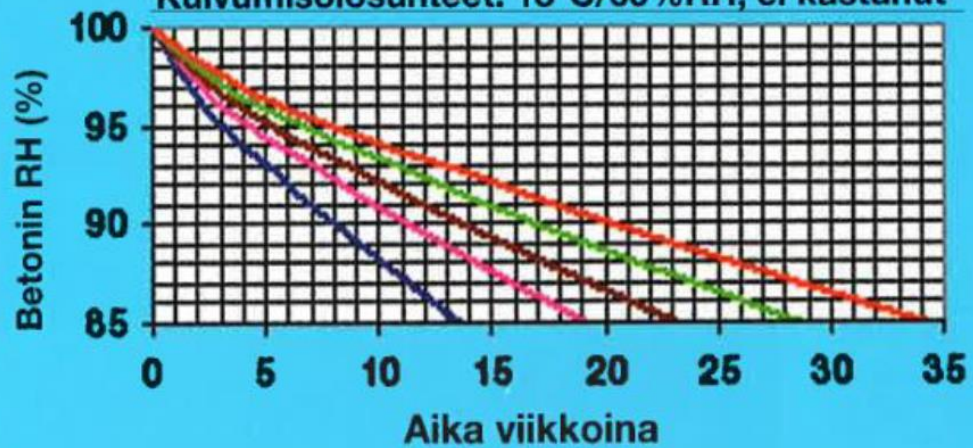
Paikallavalettu massiivinen 200 mm paksu tb-välipohja.
 Betonilaadun vaikutus kuivumisaikaan.
 Kuivumisolosuhteet: yli 2 viikkoa sateessa, sitten 25°C/50%.



Paikallavalettu massiivinen tb-välipohja. Rakenteen
 paksuuden vaikutus kuivumisaikaan.
 Kuivumisolosuhteet: 2 viikkoa kosteassa,
 sitten 18 °C / 60 %.



Maanvarainen tb-laatta. Betonin $v/s = 0,7$.
 Rakenteen paksuuden vaikutus kuivumisaikaan.
 Kuivumisolosuhteet: $18^{\circ}\text{C}/60\%\text{RH}$, ei kastunut



— 70 mm — 90 mm — 100 mm — 120 mm — 150 mm

Paikallivalettu massiivinen 200 mm paksu yhteen suuntaan kuivuva
 liittolaattaväli pohja. Betonilaadun vaikutus kuivumisaikaan.
 Kuivumisolosuhteet: 2 viikkoa sateessa, sitten $18^{\circ}\text{C}/60\%$.

